

Technická univerzita v Liberci  
FAKULTA PEDAGOGICKÁ

---

**Katedra:** fyziky  
**Studijní program:** 2. a 3. stupeň  
**Kombinace:** zeměpis–fyzika

Podpůrný multimediální program pro výuku  
astronomie na středních školách  
Supporting multimedial programme for the astronomical  
education at the secondary level school

**Diplomová práce (kód):** 03–FP–KFY–056

**Autor:**  
Martin GEMBEC

**Podpis:**

**Adresa:**  
Kokonínská 61  
466 06, Jablonec nad Nisou

**Vedoucí práce:** RNDr. Zdislav Šíma, CSc.  
**Konzultant:** Doc. RNDr. Antonín Kopal, CSc.

**Počet**

stran	slov	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
57	21030		6	38	3

V Jablonci nad Nisou dne: 20. 5. 2003

## Prohlášení o původnosti práce:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Liberci dne: 20. 5. 2003

Martin Gembec

---

## Prohlášení k využívání výsledků DP:

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení, kopírování, apod.).

Jsem si vědom toho, že: užití své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše). Diplomová práce je majetkem školy, s diplomovou prací nelze bez svolení školy disponovat.

Beru na vědomí, že po pěti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně Technické univerzity v Liberci, kde bude uložena.

### Autor:

Martin GEMBEC

### Podpis:

### Adresa:

Kokonínská 61

466 06, Jablonec nad Nisou

---

### Datum:

20. 5. 2003

## Anotace

Tato diplomová práce si klade za cíl komplexně seznámit studenty středních, případně i vysokých škol s astronomií.

V první části je proto podán přehled současných poznatků astronomie, který je doplněn dodatky vztahujícími se zčásti k multimediální příloze. Text byl zamýšlen jako středně náročný s důrazem na věcnou správnost uvedených údajů. Řazení kapitol je úmyslně vedeno tak, aby čtenáře přirozeně seznámily s jednotlivými obory. Poté, co se dovíme o technice a kosmonautice, můžeme se podívat, jaké výsledky nám přináší. Ty opět prostudujeme nejprve pro naše nejbližší okolí a poté se podíváme do větších vzdáleností. Na závěr zmíníme nejzajímavější otázky současného výzkumu a zamyslíme se nad vznikem vesmíru. Důraz jsem kladl také na souvislosti, bez nichž by studium nebylo tak účinné. Proto jsem se snažil dát k sobě témata vztahově příbuzná, což mohlo místy vnést jistou dávku nekonvenčního řazení kapitol, nicméně se snahou o zachování logické stavby práce.

Další významnou částí práce je multimediální příloha. Na ní se nachází nejen elektronická verze textu, ale především rozsáhlý archiv zvuků, obrázků a videa.

V multimediální části se pak nachází také ukázka mých internetových stránek, které mají ukázat, jak lze na středních školách pozorovat. Proto zde najdeme metodiku pozorování a fotografování oblohy a ukázku dosavadních pozorování zajímavých úkazů na obloze za posledních pět až deset let.

V Jablonci nad Nisou, 20. 5. 2003, Martin Gembec

## Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval mnoha lidem, kteří stojí u zrodu této práce nebo mi v ní byli nápomocni.

V první řadě musím jmenovat RNDr. Zdislava Šímu, CSc., který byl tak laskav, že se ujal mé myšlenky a s jeho pomocí jsem byl schopen práci zdárně dokončit. Vřele děkuji také za bohatý archiv, který mi pomohl doplnit části archivu, které jsem měl neúplné, včetně mnoha textových doplňků.

Dále děkuji Doc. RNDr. Antonínu Kopalovi, CSc. za ochotu konzultovat některé problémy, které s sebou tato práce přinesla.

Z lidí na které bych nerad zapomenul jmenuji také RNDr. Františka Špuláka, který vždy věřil, že budu schopen podobnou práci předložit a ve všem mě podpořil. Dále zmíním astronomy z Hvězdárny na Kleti Janu Tichou a Miloše Tichého, kteří mi umožnili nahlédnout do tajů planetkové astronomie. Díky nim jsem mohl na Kleti prožít mnoho krásných chvil a procvičit se v přednášení o astronomii návštěvníkům observatoře.

Můj velký dík patří také autorům fotografií nebo videa v archivu, kteří byli tak laskavi a dali mi svolení k jejich použití. Jsou jimi Dick Hutchinson, Matěj Kasper, Jakub Kencl, Tom Laskowski, Alex Mellinger, Tim Puckett, Libor Šmíd, Miloš Tichý, Milan Tůma.

Musím se zmínit ještě o dalších velkých institucích, které jsou tak laskavy, že poskytují snímky široké veřejnosti, bez nichž by tato práce byla poloviční. Z těch nejvýznamějších jsou to:

STScI, JPL, MSFC

NASA, ESA, RKA

Observatoře Ondřejov, Klet', NTT, Keck, Gemini, Subaru, CFHT, BBSO, ESO, NRAO/NSF/AUI, Kitt Peak

Na závěr bych rád poděkoval Martinu Divišovi za hodiny společně strávené pod noční oblohou, své rodině za toleranci k mému náročnému koníčku a především mé manželce, která mě všemožně podporovala při pozorování, vytváření této práce a za to že celou práci přečetla a pomohla opravit některé chyby.

# OBSAH

## KOMPLEXNÍ PŘEHLED ASTRONOMIE S DOPLŇKY K MULTIMEDIÁLNÍ PŘÍLOZE

<b>1. Úvodní slovo</b>	<b>6</b>
<b>2. Astronomická technika</b>	<b>7</b>
2.1. Astronomická technika – doplněk	11
<b>3. Kosmonautika</b>	<b>14</b>
3.1. Kosmonautika – doplněk	18
<b>4. Sluneční soustava</b>	<b>21</b>
4.1. Slunce a jeho okolí	22
4.1.1. Sluneční aktivita, polární záře	22
4.1.2. Komety Kreutzovy rodiny (Sungrazers)	23
4.2. Nové poznatky ve světě planet	23
4.2.1. Mars	24
4.2.2. Jupiter	26
4.3. Malá tělesa Sluneční soustavy	27
4.3.1. Planetky (asteroidy)	28
4.3.2. Komety	30
4.3.3. Meteorické roje, solidy a meteority	31
4.3.4. Zodiakální (zvířetníkové) světlo	34
4.4. Vznik Sluneční soustavy	34
4.5. Sluneční soustava – doplněk	35
<b>5. Vzdálený vesmír</b>	<b>41</b>
5.1. Hvězdy	41
5.1.1. Vznik a vývoj hvězd, exoplanety	42
5.1.2. Soustavy hvězd	43
5.2. Galaxie a černé díry	45
5.3. Kvasary a záblesky gama záření	46
5.4. Struktura vesmíru	47
5.5. Teorie o vzniku vesmíru a jeho stáří	48
5.6. Vzdálený vesmír – doplněk	50
<b>6. Slovníček</b>	<b>52</b>
<b>7. Použitá literatura</b>	<b>56</b>

### PŘÍLOHY (CD-ROM)

Obrazové, zvukové a video soubory k jednotlivým tématům s texty doplňků

Internetové stránky Astronomické události s autorovým pozorováním jevů na obloze a metodikou pozorování a fotografování těchto jevů

Elektronická verze tohoto dokumentu

# 1. Úvodní slovo

Tato práce je koncipována takovým způsobem, aby případný čtenář měl nejen přehled o jednotlivých oblastech astronomie, ale také si mohl udělat lepší představu pomocí přiložených obrázků, animací, videa nebo zvukových záznamů. Při vlastním studiu astronomie si zájemce může pročítat textovou část, jak v elektronické, tak tištěné podobě a zároveň nahlížet do archívu na CD. Pokud by se jednalo o učitele, předpokládám, že by si z archívu vybral materiály vhodné k danému tématu a při jejich promítnutí by mohl vykládanou látku okomentovat z přiloženého textu.

Za každou kapitolou se proto nachází doplněk odkazující na přílohu, kde jsou bližší podrobnosti k některým obrázkům apod. s vysvětlením jejich případného vztahu k danému tématu. Tytéž textové popisy se pak nalézají i v každé složce nebo podložce archívu na CD.

Materiály jsem začal získávat již před mnoha lety. Základem jsou data poskytovaná nejznámějšími vědeckými institucemi a observatořemi. Na data je uplatněna příslušná ochrana autorských práv. V případě významných zdrojů jako je NASA, ESO, SOHO a další poukazují příslušným způsobem na autorství, avšak u mnoha dalších se může jednat o mnou získaná povolení použití od jednotlivých autorů od nás i ze zahraničí, za což jim patří mé poděkování.

Práce je zamýšlena jako komplexní přehled astronomie. Proto jsem po dlouhá léta shromažďoval údaje a sám se vzdělával. Praktické zkušenosti s pozorováním mám zatím na bázi jednoduché a amatérské. S profesionální astronomií jsem se setkal především při zaměstnání na Kleti. Další praktické informace sbírám nyní od přátel s většími zkušenostmi. Data pro archív postupně shromažďuji z internetových zdrojů a významnou měrou se na tom podílel i RNDr. Zdislav Šíma, CSc.

Dalším důležitým účelem této práce by mělo být navození takového stavu, kdy čtenář začne sám aktivně pozorovat oblohu. Proto jsou v další části práce základní údaje týkající se praktické astronomie a v elektronické příloze na CD nechybí moje vlastní pozorování, která se mohou stát námětem k pozorování pro opravdu každého. Jejich aktuálnost je zajištěna mimo jiné tím, že jsou k dispozici on-line na internetu.

Jako začínající učitel fyziky na gymnáziu věřím, že by tato práce mohla najít uplatnění právě na půdě pedagogické, především při výuce nebo případně v astronomickém kroužku či studentům pedagogických fakult.

## 2. Astronomická technika

Kapitolou o technice a jejím překotném vývoji je nezbytné začít, abychom lépe porozuměli tomu, kolik nových poznatků nám nové přístroje přinesly a jaké poznatky můžeme v budoucnu očekávat.

Více než zřetelný je tento pokrok ve srovnání s dobou minulou. Teprve před čtyřmi staletími se v Holandsku objevily první skleněné čočky a vzápětí sestrojený dalekohled byl poprvé namířen na oblohu. Dalekohled holandského typu (známý také jako Galileiho, tvořený spojkou a rozptylkou) byl vylepšen Keplerem (dvě spojné čočky). Další vývoj byl ovšem z dnešního hlediska pozvolný. Snahou získat velké zvětšení byly konstrukce obludných rozměrů, jako například Heveliova o délce 47,4 metru. Dalekohledy byly málo výkonné a situace se zlepšila až s použitím dalekohledu zrcadlového. Návrh předložil roku 1674 R. Hooke na základě prací fyzika Gregoryho. Na vývoji zrcadlového dalekohledu se podíleli také fyzik I. Newton a sochař G. Cassegrain. Vynikajícím konstruktérem byl W. Herschel, který zhotovil roku 1789 také dalekohled o průměru 122 cm. Velikého rozmachu dosáhla výroba kovových zrcadel v 18. a 19. století, kdy největší přístroje měly bezmála dva metry v průměru (1842 parabolické zrcadlo 183 cm s ohniskem 16,5 metru Williama Parsonse, lorda Rosse; 1860 Lasselův dalekohled na paralaktické montáži průměru 125 cm, nejvýkonnější ve své době). Přesto ještě na počátku 20. století byl nejvýkonnějším dalekohledem světa přibližně metrový dalekohled Yerkesovy hvězdárny s čočkou o průměru 40 palců (102 cm). (Newcomb, 1909).

Další velký pokrok však na sebe již nenechal dlouho čekat. Konec 19. století byl ve znamení souboje, kdy se velké naděje vkládaly do velkých čočkových dalekohledů, ale mnozí si již uvědomovali význam zrcadlových soustav, zvláště pro fotografii. Proto vznikaly postupně další velké dalekohledy světa. V první řadě to byl dalekohled se skleněným zrcadlem pokoveným stříbrem na Mt. Hamiltonu s průměrem 91 cm (vyrobena 1875, vynikající od roku 1895). Dále jmenujme zrcadla 60 a 100 palců od prof. Ritcheye na Mt. Wilsonu (152 a 254 cm), od roku 1949 pak 200 palcový (508 cm) dalekohled na Mt. Palomaru, který byl největším teleskopem světa až do roku 1976. Následoval dalekohled na azimutální montáži v kavkazském Zelenčuku o průměru 605 cm, ale potíže s montáží bohužel nedovolily kvalitní pozorování. Byl to poslední obří teleskop se starým typem zrcadla vybroušeným z obrovské skleněné desky. (Klepešta, 1946)

Novější dalekohledy mají zrcadla vyrobená jako rotační paraboloid nebo jsou multisegmentová. Díky tomu, že jsou tato zrcadla velmi tenká, mohou být značně velká, ale neobejdeme se už bez pečlivého podepírání. Největšími zástupci generace tenkých zrcadel jsou japonský dalekohled Subaru s průměrem 8,3 metru, soustava čtyř dalekohledů o průměru 8,2 metru s úhrnnou plochou 16,4 metru na Velmi velkém dalekohledu v Chile (VLT - Very Large Telescope), případně LBT (Large Binocular Telescope, dvakrát 8,4 metru) na Mt. Grahamu v Arizoně. Příkladem multisegmentových zrcadel jsou v první řadě dvojice 10 metrových dalekohledů Keck na Mauna Kea na Havaji, kde je také dalekohled Gemini s úhrnným průměrem

8 metrů (druhý stejný teleskop je v chilských Andách). Vrcholem všeho snažení bylo vypuštění Hubbleova kosmického teleskopu (HST - Hubble Space Telescope) v roce 1990, jenž skvěle pracuje především od konce roku 1993. Je to dalekohled s průměrem primárního zrcadla „pouze“ 2,4 metru, jenže v důsledku umístění nad neklidnou zemskou atmosférou nám tento dalekohled poskytuje dosud nejostřejší záběry vesmíru. Životnost tohoto dalekohledu, i přes tři nákladné opravy, se blíží ke konci. Proto se uvažuje o vypuštění nového vesmírného dalekohledu roku 2010. Tento projekt, nazvaný zprvu NGST (New Generation Space Telescope) již má konkrétní podobu i jméno – James Webb Space Telescope na počest ředitele NASA (1961 – 1968). Bude umístěn do libračního bodu  $L_2$ , zrcadlo bude mít průměr asi 6,5 metru. Tím, že bude chlazen na velmi nízkou teplotu, bude citlivý i v infračerveném oboru a bude mít vyšší rozlišovací schopnost než HST. (<http://www.stsci.edu>, <http://www.eso.org>)

Samy velké dalekohledy by nebyly tak výhodné bez rozvoje další doprovodné techniky. Jedním z faktorů jsou montáže dalekohledu, jiným pak detektory. Až do konce 19. století se jako jediný citlivý senzor používalo oko. Po polovině 19. století se ale také v astronomii rychle prosadila technika fotografická, neboť citlivost na světlo je u fotografické emulze mnohem větší a navíc může fotony registrovat po dlouhou dobu. Tím je možno zachytit mnohem slabší objekty než okem, ať už to jsou asteroidy z okolí Země, nebo velmi vzdálené galaxie. Většina právě minulého 20. století je pak poznamenána velkým rozvojem poznatků o vesmíru. Fyzikální i kosmologické teorie byly nemalou měrou založeny právě na kvalitním pozorování. Poslední velký rozvoj astronomické techniky nastal přibližně od 80. let 20. století, kdy se také v astronomii začala projevovat stále výkonnější výpočetní technika. Za největší průlom v astronomii lze považovat nástup elektronických CCD čipů, aktivní a adaptivní optiky a internetu do světa astronomie, společně s kosmickou technikou, využívanou k výzkumu.

CCD (Charged Coupled Device – prvek s vázaným nábojem) je polovodičový čip, který při dopadu fotonů (zjednodušeně řečeno) získá elektrický náboj. Ten je pak tím větší, čím více dopadlo na čip fotonů. Tento miniaturní čip obsahuje minimálně stovky tisíc pravidelně uspořádaných polovodičových prvků, jejichž strukturu si můžeme připodobnit k velkému včelímu plástu. Čím více fotonů na jednotlivé prvky dopadá, tím větší náboj (množství mezu) se v nich akumuluje. Tento náboj jsme pak schopni přesně určit a převést na obrazovku počítače, kde množství náboje určuje také velikost jasu příslušných bodů obrazovky monitoru. Převratná je u tohoto čipu nejen rychlost, s jakou je schopen vytvořit příslušný obraz, ale především skvělá citlivost na světlo, která je astronomy tolik žádána. V tomto případě je kvantová účinnost ještě téměř stokrát vyšší než u fotografické emulze. V praxi tedy astronomický přístroj zachytí slabší objekty za stejnou dobu expozice, jako dříve, nebo, což je ještě příjemnější, zkrátí se doba expozice. (Novák, 1999)

Další velmi zajímavý prvek v pozemské astronomii je aktivní a posléze i adaptivní optika. Byla zavedena z prostého důvodu. Dalekohledy nacházející se na Zemi jako by byly umístěny na dně vzdušného oceánu. Světlo je při průchodu atmosférou neustále rozptylováno a ohýbáno vlivem tepelných kmitů atomů



a molekul. Proto je obraz hvězd, i ve vysokých polohách, značně neostrý. Jedno z řešení by bylo vynést dalekohled do vesmíru, jako je tomu u HST. Bohužel tento způsob řešení je nesmírně nákladný. Řešení problému neklidné atmosféry se ale našlo. Opět tomu tak je díky vyspělé výpočetní technice. Aktivní optika představuje jednodušší řešení, kdy za pomoci referenční hvězdy vyrovnáváme deformace obrazu způsobené změnou vlnoplochy zrcadla popřípadě tvaru tubusu dalekohledu. Tyto změny jsou napravovány zhruba několikrát za minutu. Pravým řešením problému neklidu atmosféry je však adaptivní optika. Velké zrcadlo je podepřeno velkým množstvím aktivních prvků řízených počítačem. Využívá se opět referenční hvězda, nebo se na oblohu vystřelí úzký laserový paprsek, který nám vytvoří na obloze virtuální hvězdu, s jejíž pomocí počítač zjišťuje kvalitu atmosféry a dává povel příslušným podpěrkám, jak nastavit optickou plochu zrcadla, aby byl obraz ostrý. Tyto povely jsou vydávány až několikasetkrát za sekundu. Fascinující je nejen fakt, že je vůbec možné tak rychle měnit optickou plochu zrcadla, ale také v jakých rozdílech deformace zrcadla se pohybujeme. (<http://www.la.eso.org/laquila>)

Protože elektromagnetické spektrum je velmi široké a optické dalekohledy z něj vidí jen velice malou část, existuje i řada přístrojů zaměřených na jiné vlnové délky elektromagnetického záření. Infračervenou oblast ještě zčásti pokryjí optické teleskopy, ale více se uplatňují až specializované přístroje.

Nejprve se začala rozvíjet radioastronomie, neboť rádiové vlny pronikají atmosférou až na zemský povrch. Z mnoha pozemských observatoří jmenujme ty nejznámější. Jsou to americká VLA (Very Large Array) v Novém Mexiku, tvořená 27 anténami o průměru 25 metrů, největší pohyblivý radioteleskop světa v Green Banku ve Virginii (110 x 100 m), Arecibo na Portoriku (největší radioteleskop s průměrem 305 m). V Německu 100 m teleskop v Effelsbergu, v Británii Jodrell Bank (76 m), australské Parks Radio Observatory (64 m) a Australia Telescope Compact Array (6 antén o průměru 22 metrů). V brzké době bude v provozu ALMA (Atacama Large Millimeter Array), projekt ESO (European Southern Observatory), National Science Foundation a Japonska zahrnující 64 radioteleskopů o průměru 12 metrů. Nacházet se bude v poušti Atacama 5000 metrů nad mořem v Chile. (<http://www.aoc.nrao.edu>; Kleczek, 2002)

Další obory elektromagnetického spektra byly zpřístupněny až v éře kosmonautiky, takže se o vybraných přístrojích (Compton, Chandra aj.) zmiňuji až v další kapitole.

Ve výčtu techniky, která umožnila velký skok v současné astronomii, jsem zmínil také internet. Těch oblastí, které se bez celosvětového rychlého propojení neobejdou je celá řada. Sám jsem přišel do styku s čilou komunikací mezi jednotlivými pozorovateli planetek. Podobně nezbytná je role internetu ve výzkumu záblesků gama záření, proměnných hvězd, atd. Astronomické informace jsou tak dostupné všem zájemcům z celého světa. Svůj význam má také mobilní komunikace. Bez satelitů sítě Iridium, které umožňují komunikaci celosvětové sítě satelitních telefonů, by nebylo nádherných záblesků, které způsobují jejich sluneční panely a které jsou postrachem astronomů vlastních CCD detektorů. Komunikace mezi astronomy pomocí mobilních telefonů a e-mailu je skutečně nenahraditelná, což se

ukáže zvláště u tak vzácných jevů, jako jsou polární záře. Systém rozesílání krátkých textových zpráv (SMS) perfektně funguje například pod patronací Instantních astronomických novin ([www.ian.cz](http://www.ian.cz)).

## 2.1. Astronomická technika - doplněk

Tabulka č. 1, Největší dalekohledy světa, (Kleczek, 2002)

Průměr	Název	Umístění	Poznámka
16,4 m	VLT (Velmi veliký dalekohled)	Cerro Paranal, Chile	Čtyři dalekohledy 8,2 m
11,8 m	LBT (Velký binokulární dalek.)	Mt. Graham, Arizona, USA	Dva dalekohledy 8,4 m na jedné montáži
10,0 m	Keck I a II	Mauna Kea, Hawaii, USA	Dvě zrcadla ze 36 segmentů
10,0 m	GTC (Velký kanárský dalek.)	Obs. del Roque de los Muchachos, La Palma, Kanárské o., Španělsko	Ve výstavbě (Evropa)
9,2 m	Hobby-Eberly	Mt. Fowlkes, Texas, USA	Multisegmentové, pevně nastavené
8,3 m	Subaru	Mauna Kea, Hawaii, USA	Japonský
8,0 m	Gemini (North) (South)	Mauna Kea, Hawaii, USA jižní Andy, Chile	Dva dalekohledy na obou polokoulích
6,5 m	Magellan	Las Campanas Observatory, jih Atacamy, Chile	Dvojice dalekohledů
6,05 m	Bořšoj Telesk. Azimutal'nyj	Zelenčuk, Nižnyj Arkyz, Kavkaz	Azimutální montáž
5,08 m	Hale Telescope	Mt. Palomar, Kalifornie, USA	Největší 1949-1976

Nejvýznamnější observatoře se nachází uprostřed oceánu ve velkých nadmořských výškách nebo v suchých horských oblastech Chile.

### Observatoř Roque de los Muchachos, La Palma, Kanárské ostrovy (Španělsko)

Nachází se 2400 metrů nad mořem, kvalita světelného znečištění je chráněna zákonem, je zde stabilní vzduch, v létě přes 90 % jasných nocí.

Nejvýznamnější přístroje: Skupina dalekohledů Isaaca Newtona (4,2 m William Herschel T., 2,5 m Isaac Newton T., 1 m Jakob Kapteyn T.), 3,6 m Italský Galileův národní dalekohled, 2,5 m Severský optický dalekohled, 1 m Švédský sluneční dalekohled a další.

### La Silla Observatory, Tenerife, Kanárské ostrovy

Ze všech přístrojů vyniká New Technology Telescope (NTT) s průměrem 4,2 metru.

### Mauna Kea, Hawaii, USA

Podobně vynikající podmínky jako na Kanárských ostrovech, nadmořská výška nad 4000 metrů. Využívá se proto i pro infračervenou astronomii.

Přístroje: Keck I a II (multisegmentové s úhrnnou plochou zrcadla 10 m), Subaru (japonský 8 m dalekohled), Gemini North (severní dvojče 8 m dalekohledu), CFHT (Canada France Hawaii Telescope) a další.

### **VL T – Very Large Telescope, Cerro Paranal, Chile**

Čtveřice dalekohledů, každý s primárním zrcadlem o průměru 8,2 metru. Za použití všech čtyř plus tři pomocných o průměru 1,8 metru funguje jako interferometr. Úhrnná plocha je jako u kruhového zrcadla s průměrem 16,4 metru.

### **Arecibo, Portoriko**

Nepohyblivý radioteleskop na dně údolí o průměru 305 m. Snímat může až 20° od zenitu (pohyblivý přijímač). Pasivně studuje vesmír na vlnách 10 GHz (3 cm) až 50 MHz (6 m). Získaný signál také rozebírá SETI@home (hledání mimozemské inteligence na osobních počítačích celého světa). Využíván je i jako vysílač pro studium těles Sluneční soustavy. V roce 1974 vyslal symbolický vzkaz do M 13 v Herkulu.

### **VLA – Very Large Array, 80 km od Socorro v Novém Mexiku, USA**

27 plně pohyblivých parabolických antén o průměru 25 m. Uspořádány do tvaru Y na kolejnicích s možností přesunu. Elektronickým propojením signálů mají rozlišení jako teleskop o průměru 36 km s citlivostí aparatury veliké 130 metrů.

### **Observatoře v České Republice**

Situace v naší zemi je z celosvětového hlediska unikátní v tom, že máme hustou síť hvězdáren přístupných zájemcům o astronomii. Z vědeckého hlediska se dnes uplatní ovšem jen některé, protože vybavení bývá značně nákladné.

### **Astronomický ústav Akademie věd, Ondřejov**

Observatoř má více než stoletou tradici. Nachází se zde proto několik velmi pěkných starých kopulí. Máme zde sluneční oddělení pro studium sluneční činnosti, oddělení meziplanetární hmoty zabývající se interakcí meziplanetární hmoty se Zemí (meteory) a palnetkami, stelární oddělení zkoumá horké a vícenásobné hvězdy s jejich rozsáhlými obaly, oddělení dynamické astronomie zabývající se dynamikou Sluneční soustavy a galaxií. Nachází se zde největší český dalekohled o průměru 2 metry. Na obrázku v archívu je pro srovnání k dalekohledu přidělán i čočkový jako hledáček o průměru 30 cm!

### **Hvězdárna v Úpici**

Observatoř se zabývá především studiem Slunce v oboru rentgenovém (pomocí atmosférik), rádiovém i viditelném. Dále se věnují hledání optických protějšků k zábleskům záření gama a malými tělesy Sluneční soustavy.

### **Observatoř Klet'**

Je pobočkou Hvězdárny a planetária v Českých Budějovicích. Za dob Československa byla společně s observatoří na Skalnatém plese známá objevy komet a planetek. Na vybudování hvězdárny má zásluhu Antonín Mrkos, současný tým ji od počátku devadesátých let dostal mezi přední observatoře na světě v následné astrometrii planetek. Od roku 2002 zde pracuje druhý největší český dalekohled o průměru 1,06 metru se CCD Photometrics Serie 300 (zorné pole 0,5 stupně s vizuálním dosahem až do 22 mag). CCD SBIG ST-8 je osazen 0,57 m reflektor a k dispozici je i fotografická 0,68 m Maksutovova komora.

### **Hvězdárna a planetárium Hradec Králové**

V současnosti se zde zabývají fotometrií zákrytových a kataklyzmatických proměnných hvězd s reflektorem 250/1250 osazeným CCD SBIG ST-5.

### **Hvězdárna a planetárium Mikuláše Koperníka v Brně**

Z bohatého vybavení vyniká 60 cm reflektor se CCD, používaný k pozorování proměnných hvězd. Hvězdárna je známá svou popularizační činností a slouží jako centrum shromažďování pozorování proměnných hvězd, zákrytových dvojhvězd a meteorů.

### **Hvězdárna Valašské Meziříčí**

Zabývá se pozorováním sluneční aktivity, zákrytů hvězd Měsícem, fotometrií proměnných hvězd (především dlouhoperiodických).

(Zdroj: internetové stránky jednotlivých observatoří; Kleczek 2002)

### 3. Kosmonautika

Současná kosmonautika vypadá na první pohled tak, že slavné první lety člověka do kosmu nebo na Měsíc jsou už dávnou minulostí, zatímco lety raketoplánu jsou rutinní záležitostí. O tom, že lety do vesmíru jsou stále velkým rizikem dnes, jako před čtyřiceti lety, nás bohužel přesvědčuje současný stav po nešťastném návratu raketoplánu Columbia. Na Měsíc se stále nelétá, na oběžné dráze s vypětím všech finančních prostředků vzniká ISS a jediným spojením s kosmem pro lidi zůstává léta užívaný Sojuz. Nemusíme být ovšem pesimisty. Vývoj v kosmonautice se rozhodně nezastaví, což dokumentuje jak snaha Číny o vyslání prvního kosmonauta, tak množství družic v okolí Země i sond brázdících Sluneční soustavu.

Zdá se to být neuvěřitelně dlouho. Koncem roku 2002 tomu bylo již 30 let, co naposledy chodili lidé po Měsíci v rámci projektu Apollo. Je však známým faktem, že dříve byla hnacím motorem kosmického výzkumu politika „studené války“. Přesto byla tato doba pro kosmonautiku klíčová. Díky závodům Spojených států amerických a Sovětského svazu se raketová technika mohla rychle zdokonalit. Paradoxem této doby je i jeden příjemný fakt. Je jím let československého kosmonauta Vladimíra Remka roku 1978. Naše malá země tak navždy zůstane třetím státem po obou velmocích, který měl svého kosmonauta.

Dnešní svět kosmonautiky je téměř výlučně spjat s nadvládou americké NASA (National Aeronautics and Space Administration – Národní úřad pro letectví a vesmír). Důležitou roli hrají také státy starého kontinentu, zahrnuté do Evropské kosmické agentury (ESA – European Space Agency, kam bohužel Česká republika stále nepatří). Vlastní kosmický program má také Japonsko a pozadu nechťejí být ani nejlidnatější země světa Indie a Čína. Země s nadvládou komunistů již úspěšně vyzkoušela kosmickou loď na bázi Sojuzu nazvanou Shenzou, takže možná do jednoho roku budeme mít nad hlavou čínské kosmonauty. Samostatnou kapitolou je dnešní kosmický program v Rusku, jakožto nástupci Sovětského svazu. Tato země má na čem stavět. Jsou zde obrovské zkušenosti i kvalitní technologie, ale v dnešním světě (nejen) kosmonautiky hrají bohužel nejdůležitější roli peníze, a těch je v této hospodářskými zmatky zmítané zemi naprostý nedostatek. Projevilo se to nejen v počátcích stavby ISS. Nyní je však situace taková, že mnohé země, USA nevyjímaje, si raději zaplatí za vynesení svých družic levnější ruskou raketou, nehledě na v současnosti jediné spojení s ISS pomocí tzv. „taxi“ Sojuzu (TMA-2).

Podívejme se na dva obdobné projekty, které ilustrují přechod mezi dvěma projekty s lidskou posádkou.

Tím prvním je orbitální stanice Mir. Vrcholné dílo sovětské kosmonautiky, která se po neúspěšných závodech s letem na Měsíc, zaměřila na výzkum dlouhodobého pobytu člověka ve vesmíru. Tomuto projektu předcházela celá řada dalších, především v programu Saljut, jehož součástí byl i let Vladimíra Remka, ale Mir byl největším symbolem ruského úspěchu. První modul byl vypuštěn v roce 1986 a od té doby se na Miru také střídaly jednotlivé posádky. K základnímu modulu postupně přibývaly další. Ve své vrcholné podobě, v devadesátých letech, měl Mir možnost

spojit se také s americkým raketoplánem, takže se na Mir dostalo i několik Američanů. V tom hrály roli také peníze, neboť ti za návštěvu řádně platili. Jenže Mir už řadu let přesluhoval a navíc došlo k fatální nehodě, kdy do modulu Spektr narazila nákladní loď Progress. A tak se stále více hovořilo o jeho opuštění. Z důvodů bezpečnostních i finančních. Protože se od roku 1998 začalo se stavbou nové vesmírné stanice, nebyl zde zájem, aby omezené ruské prostředky plynuly do stanice Mir. A tak se muselo stát, že Mir byl v polovině roku 2000 vyklizen a nakonec 16. března 2001 spuštěn do oceánu. Byla to operace riziková, protože řada trosek neměla úplně shořet v atmosféře. Proto byl Mir naveden z oběžné dráhy tak, že začal vstupovat do atmosféry nad Japonskem a hořící trosky byly pozorovatelné z ostrovů Fidži. V jižním Pacifiku, daleko od všech obydlených oblastí pak bylo moře poseto řadou trosek.

Druhým, dnes vrcholně důležitým projektem, je výstavba Mezinárodní vesmírné stanice (ISS – International Space Station). Jedná se původně o návrh americký, kdy zde byl od roku 1984 zájem vyvážit převahu Rusů. Ale zatímco Mir byl už od roku 1986 nahoře, bojovala NASA s politiky. Nástupem prezidenta Clintona se situace změnila. K projektu byli kromě dříve pozvaných Japonců a Evropanů přizváni i Rusové, takže stanice se měla stát jakýmsi novým Mirem. Ačkoli vše šlo zpočátku velmi ztuhla, zvláště nedostatkem peněz na straně Rusů, podařilo se v roce 1998 vypustit první moduly (Zarja – Unity) a od roku 2000 probíhá intenzivní výstavba za pomoci amerických raketoplánů. Nová vize dnešní kosmonautiky je tedy velký projekt budovaný za účasti řady států. Protože důležitou úlohu při výstavbě stanice, dnes nazývané také Alfa hrají americké raketoplány, je o to palčivější problém znovuoobnovení letů, aby projekt mohl v neztenčené míře pokračovat.

Nápad na sestrojení opakovaně použitelného dopravního prostředku, který startuje jako raketa a přistává jako letadlo, sahá již do 70. let minulého století. V roce 1981 také první raketoplán (Columbia) úspěšně odstartoval. Vše se zdálo být v naprostém pořádku až do osudového ledna 1986. Tehdy došlo k havárii raketoplánu Challenger, který krátce po startu explodoval. Projekt raketoplánu byl na dva roky pozastaven, přehodnocen a letouny byly značně vylepšeny. Další modernizací prošly koncem devadesátých let a tak se opět několikrát do roka vydávaly do vesmíru. Bohužel původní předpoklady tohoto projektu se moc nenaplnily. Neuskutečňují se žádné desítky startů ročně a provoz raketoplánu je navíc mnohem dražší, než jakákoli konvenční raketa. Přesto je to ideální dopravní prostředek k dopravě materiálu i komponent na ISS, ale i ke studiu naší Země a vesmíru, kde je lidská ruka nenahraditelná. V další budoucnosti by pak tyto raketoplány měl nahradit nový typ (projekt X33, Venture Star), který si klade za cíl být levnější než všechny současné nosiče (10-krát oproti raketoplánu a 5-krát méně než konvenční rakety). Jak to ale nakonec bude s novým typem, ukáže až budoucnost. (<http://www.ian.cz>; <http://www.mek.cz>; Toufar:1996)

Dalším hnacím motorem dnešní kosmonautiky jsou též projekty různých kosmických sond, převážně pod hlavičkou americké NASA. Jedná se jak o drahé sondy, zkoumající velké planety Jupiter (přesluhující Galileo) a Saturn (od roku 2004 Cassini), kde je nutná mezinárodní spolupráce, tak o hromadný výzkum Marsu.



U rudé planety právě operují sondy Mars Global Surveyor (od 1996), která podrobně snímkuje povrch planety a přináší neuvěřitelně detailní pohledy na možné projevy tekoucí vody (rozlišení řádu metrů) a Mars Odyssey (od 2001), která snímkuje povrch a detekuje případnou existenci vody pod povrchem. Pokud vše půjde podle současných představ, pak červen a červenec 2003 budou ve znamení startu tří sond. Projektem ESA bude sonda Mars Express (orbiter pro snímkování a lander pro přistání s vozítkem Beagle 2 pro studium chemického a biologického složení hornin a písku. Přistání prosinec 2003). NASA vyšle dvě autonomní identická vozidla v rámci mise Mars Exploration Rover 2003 (studium hornin a písku za účelem potvrzení existence tekoucí vody na Marsu v minulosti a snímkování okolí sond stereokamerou. Rovery ujedou vzdálenost až několik desítek metrů za den. Přistání leden 2004). Rok 2003 ve znamení Marsu by pak měla doplnit opožděná japonská sonda Nozomi. Jako Planet-B odstartovala již v roce 1998, ale příliš velká rychlost musela být korigována, aby nedošlo ke ztrátě mise. Tím byly způsobeny dva příliš rychlé průlety kolem Marsu v letech 1999 a 2001, takže teprve nyní, v roce 2003 by sonda měla být navedena na oběžnou dráhu Marsu. Jejím úkolem bude studium atmosféry Marsu v závislosti na slunečním větru a snímkování. (<http://www.jpl.nasa.gov>)

Významné observatoře už se dávno nenachází jen na Zemi. Detektory spektra infračerveného, ultrafialového, rentgenového i gama, které na Zemi zachytíme jen obtížně, nebo vůbec, se v kosmu rychle zabydlely. Nejznámější observatoří pro studium gama záření byla Compton Gama Ray Observatory (CGRO), která však byla v roce 1999 spuštěna do atmosféry, v roce 1997 jí značně pomáhala v lokalizaci gama záblesků družice Beppo SAX. V rentgenovém oboru to byly družice Uhuru (1970), ROSAT (1990), dnes hlavně XMM (Newtonův Rentgenový Teleskop) a Chandra (AXAF, Advanced X-Ray Astrophysics Facility) s doposud nejlepším rozlišením. Obor UV záření zkoumala v 70. a 80. letech minulého století sonda IUE (International Ultraviolet Explorer). V letech 1990 a 1995 pozorovaly z raketoplánu UIT (Ultraviolet Imaging Telescope) a také EUVE (Extreme ultraviolet Explorer). Infračervený obor studovaly družice IRAS (Infrared Astronomical Satellite) roku 1983 nebo ISO (Infrared Space Observatory) v letech 1995 – 1998.

Slunce sledovala například SMM (Solar Maximum Mission) v letech 1980 až 1989 a dnes především družice SOHO – Solar and Heliospheric Observatory (od roku 1995 v libračím bodě  $L_1$  1,5 mil. km od Země směrem ke Slunci), Yohkoh (rentgenová družice) či geostacionární GOES (sledování sluneční aktivity – erupcí v RTG oboru). (Kleczeck, 2002)

Nad všemi těmito projekty pak trůní ten nejdražší a neznámější – Hubbleův vesmírný dalekohled, o nějž se Američané pravidelně starají a zaznamenal tak roku 2002 už čtvrtou servisní návštěvu. Díky naposledy nainstalované kameře ACS (Advanced Camera for Surveys) máme možnost využít HST k zatím nejrychlejšímu snímkování a po letech padl rekord, kdy byly zaznamenány objekty 31. magnitudy. Pracovat má minimálně do roku 2005, ale pravděpodobně to bude až do roku 2010. (<http://www.stsci.edu>)



Na obzoru je naštěstí vypuštění nového vesmírného dalekohledu (James Webb Space Telescope) s průměrem asi 6,5 metru. Měl by odzkoušet novou odlehčenou optiku (HST 8 tun, JWST 5,5 tuny), rozložitelný protisluneční štít a multisegmentové zrcadlo, chlazení na velmi nízké teploty (pod 50 K) a elektronickou kontrolu zrcadla. Hlavními úkoly mise jsou lepší zjištění struktury vesmíru, vysvětlení vzniku galaxií, porozumění zrodu a formování hvězd, pochopení způsobu tvorby planet, zjištění procesů, vedoucích k současnému chemickému složení vesmíru a poodhalení podstaty a množství temné hmoty. Doufejme, že tento přístroj bude úspěšně pracovat již roku 2010 v jeho plánovaném působišti – Lagrangeově bodu  $L_2$  (1,5 mil. km od Země směrem od Slunce, kde je vyrovnána gravitace Slunce a Země). (<http://ngst.gsfc.nasa.gov>)

### 3.1. Kosmonautika – doplněk

#### Počátky kosmonautiky

**Sputnik 1** (4. 10. 1957 – 4. 1. 1958), první umělá družice Země, vysílal rádiové signály (pípání – viz. složka Audio), obíhal po eliptické dráze (perigeum 227 km, apogeum 947 km), průměr 58 cm, hmotnost 83,6 kg.

**Vostok 1** (12. 4. 1961), 1. kosmonaut Jurij Alexejevič Gagarin, 1 oblet Země s délkou trvání 108 minut.

**Mercury - Redstone 3**, 5. 5. 1961, vesmírný skok po balistické křivce, Alan B. Shepard

**Mercury - Friendship 7**, 20. 2. 1962, první americký oblet Země, John Glenn

**Voschod 1** (12. 10. 1964), první let tří kosmonautů najednou (velmi riskantní operace své doby – na příkaz N. Chruščova letěli v upraveném Vostoku bez skafandru a možnosti použít záchranný systém). Posádka Komarov, Feoktistov, Jegorov.

**Voschod 2** (18. 3. 1965), dvoučlenná posádka. Alexej Leonov se stal prvním, kdo vystoupil do volného kosmu. S Leonovem letěl Beljajev.

**Gemini**, lety dvou astronautů najednou, příprava projektu Apollo, první výstup do volného kosmu E. Whitea v červnu 1965, přiblížení Gemini 6 a 7 v prosinci 1965 na 10 metrů, spojení Gemini 8 s nepilotovaným modulem Agena v březnu 1966.

**Apollo 8**, první let k Měsíci.

**Apollo 11**, první přistání na Měsíci 20. 7. 1969, Moře Klidu. Armstrong, Aldrin, Collins.

#### Další projekty

**Sojuz**, nejúspěšnější kosmická loď sovětské i ruské éry. Létá doposud v upravené verzi TMA-2 na ISS. První lety byly občas dramatické (nebo s tragickým koncem; Sojuz 1 s V. Komarovem a Sojuz 11 s Dobrovolským, Volkovem a Pacajevem).

**Saljut**, sovětské pokusy o dlouhodobý pobyt ve vesmíru, doprava kosmonautů probíhala lodí Sojuz. V roce 1978 navštívil Saljut i československý kosmonaut Vladimír Remek.

**Skylab**, americká laboratoř vytvořená ze čtvrtého stupně rakety Saturn V.

**STS, raketoplán**, Space Transportation System – projekt opakovaně použitelného vesmírného plavidla. Úspěšný díky nenahraditelné práci lidí v kosmu, avšak velmi drahý, což neodpovídá původnímu záměru. Raketoplány byly vyrobeny v tomto pořadí: Columbia (první zkušební let 1980, tragický rozpad při průniku do atmosféry 1. 2. 2003), Enterprise (zkušební model v zemské atmosféře), Challenger (zničen po startu 28. 1. 1986), Atlantis, Discovery, Endeavour (náhrada za zničený Challenger). (<http://spaceflight.nasa.gov>, <http://science.ksc.nasa.gov>)

**Mir**, velmi úspěšný projekt sovětské (ruské) vesmírné stanice v letech 1986 až 2001. Základní blok byl postupně doplněn dalšími moduly (1987 Kvant-1, 1989 Kvant-2,

1990 Kristall, 1995 Spektr a modul pro přistání raketoplánu, 1996 Priroda). Dopravu kosmonautů a materiálu zajišťovaly lodě Sojuz TM a od roku 1995 i raketoplán Atlantis.

**ISS, Alpha**, Mezinárodní vesmírná stanice – společný projekt komplexu budovaného od roku 1998 především za pomoci amerického raketoplánu. Hlavní podíl USA, Rusko. Dále ESA, Japonsko, Kanada, Brazílie. Určena je pro pobyt 7 lidí, ale doposud ji obýval tým tříčlenný a dnes prozatímní dvoučlenný (do obnovení letu raketoplánů).

## Sondy

**Pioneer**, sondy pro výzkum okolí Země (sluneční vítr, radiační pásy) a později Sluneční soustavy. Pioneer 10 a 11 (start 1972 a 1973) byly první sondy letící skrz pás planetek k Jupiteru a Saturnu (Pioneer 11). Poslední navázané kontakty 2002. Nesou na palubě poselství pozemšťanů. Poslední sondy Pioneer Venus 1 a 2 zkoumaly Venuši (od 1978).

**Mariner**, řada amerických sond určených pro výzkum planet. Mariner 2 a 5 průlet kolem Venuše, Mariner 4, 6 a 7 průlet kolem Marsu, Mariner 9 se v roce 1972 stal první umělou družicí Marsu. Mariner 10 proletěl kolem Venuše a třikrát navštívil Merkur (1974 – 1975 vůbec jediné detailní snímky povrchu). Mariner 11 a 12 přejmenován na Voyager 1 a 2.

**Voyager**, vypuštěny 5. 9. (Voyager 1) a 20. 8. 1977 (Voyager 2). Velmi úspěšné sondy, které společně zkoumaly Jupiter (1979) a Saturn (1980 – 1981), Voyager 2 pak byl urychlen gravitací planet až k Uranu (1986) a Neptunu (1989). Cestovní rychlost byla zvýšena gravitačním prakem díky vhodné konstelaci planet. Pokud by se výprava mohla uskutečnit dříve, bylo možné takto navštívit i Pluto. Mise stále probíhá, Voyager 1 je od roku 1998 nejvzdálenější sondou. Také tyto sondy obsahují plakety s pozdravem pozemšťanů a navíc ještě pozlacené měděné desky s pozemskými zvuky a projevy.

**Viking 1 a 2**, sondy které prozkoumaly Mars v letech 1976 – 1982 jak z oběžné dráhy, tak pomocí přistávacích modulů. Orbitery fotografovaly oba měsíce Phobos a Deimos a povrch planety s rozlišením ve vybraných oblastech až 8 metrů. Landery snímkovaly okolí, zkoumaly počasí, chemické i biologické složení hornin i atmosféry.

**Magellan**, start 1989, u Venuše mapoval její povrch pomocí radaru (v letech 1990 až 1994 zmapoval 98 % povrchu s rozlišením 100 metrů). Sonda měřila také výšky, elektrické charakteristiky povrchu, gravitační pole planety a při zániku v atmosféře přinesla unikátní informace o jejím složení.

**Galileo**, start 1989, pracuje u Jupiteru od roku 1995, mise se blíží k závěru. 7. 12. 1995 pronikla do atmosféry Jupiteru část sondy a vysílala data o jejím složení. Orbitální část detailně prozkoumala atmosférické jevy na planetě i soustavu družic, z nichž se detailně zaměřila na čtyři největší.

**Cassini**, odstartovala roku 1997, na přelomu 1999/2000 proletěla kolem Jupiteru a studovala jej tak simultánně se sondou Galileo. Přílet k Saturnu je plánován na 1. 6. 2004. Na 1. leden 2005 je plánováno přistání sondy Huygens na tajemném měsíci Titan.

**COBE**, Cosmic Background Explorer, start 1989. V roce 1992 přinesla poznatky o anisotropii reliktního záření (malorozměrové fluktuace teploty). V roce 1998 pak přinesla objev infračerveného záření vesmírného pozadí.

**HST**, vypuštěn v roce 1990. Oprava chybně vyrobeného zrcadla vložním opravného systému COSTAR provedena 1993. Servisní mise v letech 1997, 1999 a 2002.

**Chandra**, rentgenová observatoř s dalekohledem o průměru 1,2 metru. Vynikající úhlové rozlišení umožňuje získávat nové poznatky v tomto oboru elektromagnetického spektra (zorné pole 1 stupeň, rozlišení 5 úhl. vteřin).

**NEAR-Shoemaker**, start 1996, vyfotografovala planetku Mathilde, v roce 1998 měla zakotvit u planetky Eros, ovšem to se povedlo až v roce 2000. Nakonec na Erosu přistála 20. 2. 2001).

**Stardust**, odstartovala roku 1999. Jejím úkolem je sbírat kosmický prach a v lednu 2004 pak při těsném průletu kolem komety P/Wild 2 částice komy a ohonu, které budou dopraveny na Zemi.

**Deep Space 1**, start v roce 1998. Testovala nové technologie, např. iontový motor. Podařilo se jí vyfotografovat planetku Braille (bohužel až po průletu) a jádro komety P/Borelly.

**SOHO**, Solar and Heliospheric Observatory. Velice úspěšná sluneční observatoř. Start roku 1995. Nejznámějšími přístroji jsou EIT (Extreme Ultraviolet Imaging Telescope, snímky vnitřní koróny), MDI (Michelson Doppler Imager – informace o slunečních vibracích, snímky povrchu), korónografy LASCO C2 a C3 (Large Angle and Spectrometric Coronagraph) nebo SWAN (Solar Wind Anisotropies) studující mimo jiné vodíkové obaly komet.

(<http://www.nasa.gov>, <http://sci.esa.int>, <http://www.ian.cz>, <http://www.mek.cz>; Kleczek, 2002, Toufar, 1999)

## 4. Sluneční soustava

První znalosti z oboru astronomie jsem získával v letech osmdesátých a více pak po roce 1990. Dnes mám ale dojem, že pohled na Sluneční soustavu se v mnohém změnil. Obávám se ale, zda se změní i přístup ostatních astronomů i lidí o astronomii se zabývajících jen okrajově. Pokrokově myslící astronomická komunita předpokládá, že dnes již to není problém. O čem je vlastně řeč?

Klasické rozdělení Sluneční soustavy v letech osmdesátých – kdekdo uměl vyjmenovat devět planet, mnozí věděli i o existenci jiných těles, jako jsou komety a planetky. Ti zdatnější neopomenuli zmínit také meziplanetární plyn a prach. Přehled pak vypadal asi takto.

Kolem centrální hvězdy, Slunce, obíhá devět planet. Ty dělíme do dvou skupin – na planety terestrické (pozemského typu), nazývané také vnitřní (Merkur, Venuše, Země, Mars) a planety velké (plynné obry), též planety vnější (Jupiter, Saturn, Uran a Neptun). K planetám se pak řadí ještě Pluto, které se ale nehodí do žádné z těchto skupin (dá se říci že právě dělením na planety vnitřní a vnější je tento problém obcházen). Dále je znám velký počet malých planetek v pásu mezi drahami planet Mars a Jupiter, předpokládá se velký oblak komet – tzv. Oortův oblak, z něhož pochází téměř všechny dosud pozorované komety. Mezi tímto se pak v prázdnotě vesmíru nachází menší tělesa, zvaná meteoroidy a dále mezihvězdný plyn a prach. (Vanýsek, 1980)

Smyslem tohoto příkladu bylo podat přehled o vzhledu Sluneční soustavy. V posledních letech se však situace radikálně změnila. Podívejme se nyní na to, jak bych vyložil přehled Sluneční soustavy nyní.

Podržel bych se především úvodních slov z předchozího přehledu. Těžko bychom dnes vymýšleli něco nového na faktu, že nejdůležitějším členem soustavy je Slunce. Je to sice pouze jedna z mnoha miliard hvězd naší Galaxie, ale přesto je výjimečná a jedinečná, neboť jsme na ní závislí mnohem více, než jsme ochotni mnohdy připustit. Slunce soustředí asi 99 % celkové hmoty Sluneční soustavy.

Nejvíce změn ale postihlo další členění, neboť výzkum vesmíru, především v letech devadesátých, šel rychle dopředu. Bylo objeveno mnoho malých těles, především desetitisíce planetek, které se nacházejí téměř všude ve Sluneční soustavě. Objevem mnoha těles transneptunických byl ještě více zpochybněn názor na Pluto jako jednu z planet. Na některých konferencích to vypadalo, že pouze národnost objevitele ji právem mezi planety řadí (Američan Clyde Tombaugh, 1930).

Sluneční soustava, to je soubor všech těles, která jsou poutána gravitačním polem Slunce. Z této skupiny se obvykle vyřazují jen tělesa, která oběhnou Slunce po hyperbolické dráze a jsou to v podstatě mezihvězdní návštěvníci.

Kolem Slunce obíhá osm planet, které bychom dle jejich vzájemné podobnosti rozdělili do dvou skupin, na planety terestrické, neboli vnitřní a na planety velké, respektive plynné obry nebo také planety vnější. Kromě planet se kolem Slunce pohybují stovky tisíc menších těles, jako jsou planetky a komety. Planetky obíhají prakticky všude, ale mohli bychom je rozdělit do dvou hlavních skupin. První jsou

tělesa, jejichž dráhy připadají především do pásu mezi planetami Mars a Jupiter, i když některé se pohybují i blíže ke Slunci nebo naopak dále. Druhou skupinu pak tvoří tělesa za dráhou Neptunu. Tyto objekty bývají nazývány jako Transneptunické a tvoří zde tzv. Edgeworth-Kuiperův pás planetek, jehož největším známým zástupcem by mohl být Pluto, z historických důvodů řazený mezi planety. Na samé hranici Sluneční soustavy se nachází v široké kulové vrstvě obrovský shluk kometárních jader, zvaný Oortův oblak, jejichž počet může přesahovat i bilión ( $10^{12}$ ) kusů. Odtud se pak komety vydávají na svou pouť ke Slunci. Sluneční soustavu také vyplňují částice mezihvězdného prachu a plynu, nejvíce soustředěné v rovině rovníku Slunce (zvířetníkové světlo) a také plasma (nabitě částice slunečního větru).

V dalších kapitolách se na Sluneční soustavu zaměřím trochu podrobněji.

## 4.1. Slunce a jeho okolí

V posledních letech bylo díky družicím umístěným ve vesmíru možno pozorovat mnoho zajímavých úkazů v okolí Slunce i na hvězdě samotné. Dnes je již nepochybné, že největší podíl na poznání Slunce má v současné době sluneční observatoř SOHO, což je družice umístěná asi 1,5 miliónů km od naší planety, v libračním bodě L1 mezi Zemí a Sluncem. Tato družice je vybavena řadou přístrojů, z nichž nejznámější jsou korónografy o různém průměru zorného pole a také kamera zachycující sluneční disk v různých vlnových délkách. (<http://sohowww.nascom.nasa.gov>)

### 4.1.1. Sluneční aktivita, polární záře

Přelom tisíciletí byl opět ve znamení vysoké sluneční aktivity. Je totiž známo z dlouhodobých pozorování Slunce, že v průběhu jedenáctileté periody se aktivita Slunce postupně mění od minima po maximum. Naposledy mělo nastat maximum v letech 2000 až 2001 a s ním souvisela řada jevů, jež můžeme na Slunci i na Zemi pozorovat.

První věcí na povrchu Slunce, která zaujme zběžné oko diváka vybaveného dalekohledem s patřičným ochranným filtrem, jsou tmavé oblasti zvané sluneční skvrny. Při detailním pohledu se jeví jako oblasti s tmavou oblastí vnitřní a šedavou vnější. Jedná se o místa na povrchu Slunce, kde se komplikovaně zhušťují siločáry magnetického pole. To pak vede k ochlazení, neboť magnetické pole potlačí konvekci (teplé výstupné proudy z podpovrchových vrstev, přibližně jako v hrnci s vroucí vodou, přenášející energii na povrch). Teplota uvnitř skvrn pak poklesne o více než 1000 stupňů než je teplota okolí (povrch Slunce má teplotu kolem 6000 K). Tyto stále velmi horké oblasti pozorujeme jako tmavé díky kontrastu vůči ještě mnohem teplejšímu a tím i jasnějšímu okolí. (Příhoda, Holovská, 1996)

Skvrny se vyskytují v aktivních oblastech na povrchu Slunce. Nezřídka se také stává, že v těchto místech dochází k různě velikým erupcím, z nichž ty nejmohutnější jsou doprovázeny velkým výtryskem hmoty do koróny a následně do

meziplanetárního prostoru (Coronal Mass Ejection – CME). Směrem od Slunce se pak vydává rázová vlna nabitých částic slunečního větru. Jestliže zasáhne také Zemi, naruší se její magnetické pole a řada částic sestupuje do atmosféry v oblasti pólů. Částice slunečního větru při vstupu do vysoké atmosféry naráží na molekuly vzduchu, které jsou potom ionizovány. Předávají jim tedy svou energii, a když je pak opět vyzařena, uvolní se fotony v různých vlnových délkách viditelného spektra. Proto mívají polární záře zelenou nebo také červenou barvu, podle toho, zda je k záření vybuzen kyslík nebo dusík. Nejmhutnější polární záře jsou pak pozorovatelné také z našeho území jako svítící oblaka nejčastěji červené barvy nad severním obzorem. Děje se tak vždy v období maxima sluneční aktivity. Poslední možnosti z našeho území nastaly například 17. listopadu 1989, 6. dubna 2000 nebo 31. března až 1. dubna 2001. (<http://www.spaceweather.com>)

#### **4.1.2. Komety Kreutzovy rodiny (Sungrazers)**

Původně jsem zvažoval, kam umístit tuto kapitolu, ale jak sami uvidíte, průzkum této rodiny komet je asi největším úspěchem, chcete-li překvapením, observatoře SOHO. Tato družice je totiž zcela neočekávaně nejúspěšnějším lovcem komet všech dob. Od roku 1995, kdy pozoruje okolí Slunce jich objevila už více než 100. Drtivá většina těchto komet patří do Kreutzovy rodiny komet. Patrně v roce 372 př.n.l. popsal letopisec Ephorus monumentální kometu, jež se při průchodu přísluním rozpadla na dva kusy. Odhadujeme, že ty se pak ke Slunci vrátily v roce 1100 n.l. rozpadlé již na řadu úlomků a dnes se podél dráhy této komety zřejmě nalézají více než 20 000 větších úlomků. Patří k nim mimo jiné Velká březnová kometa (C/1843 D1), Velká jižní kometa (C/1880 C1), Velká zářijová kometa (C/1882 R1), Velká jižní kometa 1887 (C/1887 B1) a ve dne viditelná kometa Ikeya-Seki z roku 1965. Tyto komety mají perihélium uvnitř sluneční koróny a tak se často stává, že menší kusy se zcela vypaří nebo jsou Sluncem pohlceny. (<http://sohowww.nascom.nasa.gov>, <http://encke.jpl.nasa.gov>)

## **4.2 Nové poznatky ve světě planet**

Stále se zlepšující pozemská technika i nové kosmické sondy přináší mnoho nových informací o světě planet. Mohu ale zmínit i oblasti, o kterých jsme se v poslední době nedověděli nového nic.

V první řadě jde o planetu Merkur. Ani americká NASA nemá v poslední době peněz nazbyt a tak přichází ke slovu průzkum jiných, zajímavějších těles. Sonda k Merkuru je tedy zatím v plánu. Díky obřím dalekohledům Keck na Havaji víme, že Merkur má řídkou atmosféru, v níž byl nalezen sodík, draslík a vápník. Kromě toho se podařilo získat 1,5-m dalekohledem na Mt. Wilsonu překvapivě ostré záběry povrchu, na nichž je mimo jiné patrný dosud neznámý kráter na severní polokouli o průměru 150 km. (<http://www.mtwilson.edu>)



Podobně jsme na tom se znalostmi nejvzdálenějších planet, ale i zde nám při výzkumu pomáhají alespoň obří dalekohledy a Hubbleův vesmírný teleskop. Dnes například víme, že již tak dost početné rodiny měsíčků velkých planet jsou ve skutečnosti ještě rozsáhlejší. Je otázkou, kde je hranice mezi zachyceným kosmickým smetím a skutečným měsíčkem planety. Uvádím malý přehled k dubnu 2003. Doposud nejvíce měsíců bylo nalezeno u planet Jupiter (39) a Saturn (31), ale také Uran má 21 známých satelitů a známo je již 11 měsíců u planety Neptun. Od roku 1989 je také bezpečně prokázáno, že všichni plynní obři mají soustavu prstenců, nejvýraznější je však překrásný prstenec Saturnův. Dnes již víme, že prstence jsou shluky velkého množství různě velikých balvanů a kamínků, převážně však ledových. (<http://www.astronomie.cz>, 2003)

Nejvíce je výzkum zaměřen na planety Mars a Jupiter, k nimž přibude brzy ještě Saturn (v roce 2004 zde zakotví sonda Cassini, která je srovnatelná se sondou Galileo u Jupiteru a navíc vyšle na Titan průzkumné pouzdro Huygens). Detailní mapování planety Venuše sondou Magellan proběhlo v devadesátých letech. Hustá oblaka Venuše jsou tvořena převážně z kapiček kyseliny sírové a nachází se také mnohem výše nad povrchem, než tomu je u naší Země. Krajní nehostinnost jejího povrchu pak jen podtrhuje pekelný žár na povrchu až 495 °C. (<http://www.jpl.nasa.gov>)

Objevila se nová teorie o tom, proč některé satelity vlastně obíhají své planety retrográdně. Zdá se, že dobré výsledky přinese spolupráce týmu matematiků a chemiků založená na teorii chaosu.

„Zveřejněné výsledky jsou více než slibné. Použité matematické modely skutečně odpovídají existujícím drahám, na kterých obíhají známé „adoptované“ měsíce ve Sluneční soustavě a aby toho nebylo málo, dokáží předpovědět polohy dalších, dosud neobjevených těles. To by mohlo značně ulehčit práci astronomům, kteří tak budou moci ve svém pátrání po dalších objektech kolem velkých planet jít prakticky najisto. Dalším zajímavým závěrem je vysvětlení nepoměru ve směru rotace satelitů velkých planet. Tělesa, které rotují ve stejném smyslu jako centrální planeta, se totiž na své dráze často dostávají do její těsné blízkosti. Zde se ale vystavují akutnímu riziku srážky s některým z velkých vnitřních měsíců, například u Jupitera jsou to čtyři známé tzv. Galileovské měsíce, a případná kolize pak samozřejmě skončí zničením nezvaného hosta. Měsíce s touto rotací se proto staly doslova ohroženým druhem.“ (cituji IAN, 486. číslo, <http://www.ian.cz>)

#### **4.2.1. Mars**

Odpověď na otázku, proč právě Mars je ve středu pozornosti, vyplývá například z podobnosti této planety vzhledem k Zemi. Mars je od Slunce asi dvakrát dále než Země. Je také dvakrát menší, ale má například podobně skloněnou rotační osu o 23,98° (Země 23,45°) a podobnou délku dne (24,62 pozemské hodiny). Zde ale také dnešní podobnost končí. Povrch Marsu je velmi nehostinný. Planeta má totiž řídkou atmosféru složenou převážně z oxidu uhličitého, která neumožňuje teploty vyšší nežli pár stupňů pod 0 °C a tlak je příliš nízký, než aby se na povrchu mohla vyskytovat tekoucí voda.



Voda na Marsu ale přeci jenom zůstala, avšak převážně pod povrchem, nebo v podobě ledu polárních čepiček (ty jsou však převážně ze „suchého ledu“  $\text{CO}_2$ ) či v atmosféře. A kde je voda, tam bychom mohli očekávat i naději na stopy života, ať už nynější, nebo z dob minulých. (Heuseler, Jaumann, Neukum, 1999)

K planetě se vydala v posledních letech celá řada sond. Nejúspěšnější jsou ovšem zatím jenom dvě. V roce 1997 přistála na povrchu sonda Mars Pathfinder. Místo dosednutí je v bývalém povodňovém řečišti, což snímky této sondy také potvrdily. Navíc Pathfinder dovezl s sebou malé vozítko, které po dobu více než dvou měsíců zkoumalo okolí a pořizovalo chemický rozbor hornin. Z něho jsme se dověděli vcelku převratné novinky. Například to, že geologie Marsu je podstatně složitější, než se doposud soudilo. Některé kameny obsahující převážně oxid křemičitý totiž dokázaly, že Mars byl v minulosti geologicky mnohem aktivnější než se doposud soudilo.

Od roku 1996 je na oběžné dráze Marsu také veleúspěšná sonda Mars Global Surveyor. Jestliže na jaře roku 2001 skončila její pětiletá mapovací mise, neznamená to ještě konec, ale naopak začátek dalšího výzkumu. Tato sonda v poslední době objevila nejen značnou různorodost ve složení obou polárních čepiček, ale také například to, že kůra Marsu je na severní polokouli značně tenčí, asi 35 km, oproti tloušťce 80 km na jihu. Nejzajímavějším objevem jsou pak malé stružky a rýhy na úpatích některých kráterů, o nichž vědci soudí, že je mohla způsobit pouze tekoucí voda.

Další dvojice sond Mars Climate Orbiter a Mars Polar Lander z roku 1999 selhala, jak se o tom podrobněji zmiňují na svých internetových stránkách v příloze.

A tak další sondou operující nyní u rudé planety je Mars Odyssey. Bude jednak zprostředkovávat přenos dat z přistávacích modulů dalších výprav a jednak se zajímá o množství ledu pod povrchem. Tak nyní víme, že jej v marsovských horninách je opravdu velké množství, které by po roztátí dokázalo vytvořit na Marsu oceány.

Aktuálně se k Marsu chystají výpravy sond Mars Express a Mars Exploration Rover, jak se zmiňují v kapitole o kosmonautice.

Roku 2005 by měl startovat orbiter s možností snímkování povrchu s rozlišením řádu decimetru. Pro rok 2007 se předběžně chystá pouze několik menších výprav, jako by byly např. balón nebo letadlo a další miniaturní přístroje. Nejdříve roku 2009 je plánována výprava s návratem vzorků marsovských hornin na Zemi. Pro takovou misi je ale nutné znát nejzajímavější místa pro odběr vzorků, proto se o termínu bude mluvit až na základě výprav na přelomu let 2003 a 2004. (<http://www.jpl.nasa.gov>)

Domnívám se také, že let lidí na Mars je pouze otázkou času. Lidé jsou totiž dostatečně ctižádostiví a tak, když bude rozumný důvod či politická vůle, jistě se na Mars dostanou. O penězích tento problém není, jak by si mohli někteří myslet, protože současné války proti terorismu, jak je západní svět nazývá, stojí jenom americké daňové poplatníky více, než celý projekt letu na Mars. Dá se odhadnout, že před rokem 2020 se letu lidí nedočkáme.

## 4.2.2. Jupiter

Také největší planeta Sluneční soustavy je pod drobnohledem jedné velmi úspěšné kosmické sondy. Tato se jmenuje Galileo a její výsledky jsou skutečně skvělé. Sonda doletěla k Jupiteru v roce 1995. Už cestou pořídila snímky dvou planetek a navíc měla sestupové pouzdro, které na pádaku klesalo atmosférou planety a přinášelo mnoho nových údajů (paradoxně se ale trefilo do ne moc typické části Jupiterovy atmosféry). V atmosféře Jupiteru převládají úplně jiné pohyby než ve vzduchovém obalu Země. Zatímco u nás je velký rozdíl teplot mezi oblastmi pólu a rovníkem, na Jupiteru už se jedná jen o rozdíl několika Kelvinů. Proto zde vanou větry především v horizontálním směru a vytvářejí tak charakteristické pásy. Kromě toho se v atmosféře vyskytují ještě pohyby sestupné a výstupné. Místa, kde vidíme hlouběji do atmosféry se nazývají horké skvrny. Do jedné takové oblasti se shodou okolností trefilo i přistávací pouzdro sondy Galileo. Víme také, že v atmosféře zdaleka nepanuje chemická rovnováha, což je dáno účinky slunečního (zejména UV) záření, které štěpí prvky na radikály. Tyto volné částice způsobují ono známé zabarvení planety. Největšími zvláštnostmi Jupiterovy atmosféry jsou různé velké tmavé i světlé skvrny, mezi nimiž vyniká tzv. Velká červená skvrna. Jedná se v podstatě o velké atmosférické víry, které bychom snad mohli přirovnat k pozemským hurikánům, jenže zde existují velmi dlouho. Dá se tušit, že je to způsobeno malým třením, ale vysvětlit spolehlivě existenci Velké červené skvrny, kterou pozorujeme spolehlivě přes sto let, je obtížné (existují záznamy o pozorování podobného útvaru staré nejméně 300 let). Některé otázky týkající se chování Jupiterovy atmosféry nebo jeho složení ještě čekají na rozřešení.

Neméně zajímavé je také magnetické pole planety. Jupiterova magnetosféra je obrovská. Ve složitém magnetickém poli se vyskytují proudy vysoce energetických částic. Velké měsíce, známé též jako Galileovské, protože je objevil při prvním namíření dalekohledu na nebe Galileo Galilei, vychytávají tyto částice z Jupiterovy magnetosféry. Mezi Ió a planetou se indukují velké elektrické proudy (plasmový torus) a Ió tak přispívá k zářivému výkonu planety. (Je známo, že Jupiter vyzařuje do okolí asi dvakrát více energie, než kolik jí přijímá od Slunce). Podobný jev slabšího charakteru byl nalezen také podél dráhy Evropy.

Sonda Galileo v současné době prochází prodlouženou částí své mise. Jejím úkolem je podrobněji zkoumat Jupiterovy velké satelity. V nejbližší době však bude její mise ukončena a zanikne v atmosféře Jupiteru (aby případně neznečistila povrch exobiologicky zajímavého měsíce Europa). Pokud jsme se už od dob průletu sond Voyager koncem 70. let dověděli, že svět velkých měsíců je velmi podivuhodný, pak sonda Galileo tyto závěry jen potvrzuje. O družici Ió tak můžeme směle prohlásit, že se jedná o vulkanicky nejaktivnější těleso ve Sluneční soustavě. Důvod této intenzivní sopečné činnosti je nutno hledat ve slapových silách Jupiteru, které hnětou vnitřek družice Ió. V důsledku toho máme na snímcích pořízených kosmickými sondami možnost pozorovat sopečné vulkány chrlící lávu až do výšek 200 km. Nutno poznamenat, že láva na této Jupiterově družici je složena především ze sloučenin síry, takže je to poněkud jiný vulkanismus, než na jaký jsme zvyklí ze Země. Povrch Ió je

tedy velice mladý, jak dokazuje srovnání záběrů s odstupem dvaceti let, mezi snímky sond Voyager a Galileo (změny na družici Ió dokázal zaznamenat dokonce i Hubbleův vesmírný dalekohled).

Neméně zajímavá je též družice Europa. Je o něco menší, než Ió, má v průměru 3126 km, ale srovnejme to s naším Měsícem o průměru 3476 km a vidíme, že čtveřice největších Jupiterových satelitů opravdu nejsou žádní drobečci. Povrch Europy tvoří ledový krunýř se spoustou nápadných rýh. Detailní záběry z Galilea nám ukázaly svět, který je nápadně podobný tomu, jaký známe z polárních oblastí na Zemi. Ledové bloky jsou nakupeny přes sebe a různě deformovány. Jsou zde strže, praskliny nebo cosi co připomíná zamrzlé kaluže. Dnes už není pochyb, a víme to z magnetometrických měření, že pod tímto ledovým krunýřem je vodní oceán. Pokud bychom před lety tvrdili, že může existovat život u nás na Zemi hluboko u dna oceánu, kde tryskají horké pameny, kde není ani kyslík, ani sluneční záření, mohlo by to v očích biologů znít jako nesmysl. Ale dnes už máme o takovém životě důkazy a exobiologové se mohou ptát, zdali bychom nemohli nalézt život i na Europě. Jsou to sice pouhé spekulace, ale vyloučit se to jistě nedá.

Další satelity, které sonda prozkoumala jsou pochopitelně Ganymedes a Kallistó. Tyto dva měsíce jsou si svým složením podobné, převažuje kamenné nitro a ledový plášť (poslední průzkum Galilea navíc prokázal podpovrchovou vodu i na Kallistó). Na povrchu Ganymeda jsou patrné stopy geologické aktivity, zatímco Kallistó je poznamenána spíše dopadovými krátery, které mají ale zvláštní strukturu. Zvláště velké pánve mají tvar mnoha soustředných kružnic, jako kdybychom hodili do vody kámen a voda okamžitě zamrzla. Kromě Saturnova měsíce Titan (5150 km), jsou Jupiterovy měsíce největší ve Sluneční soustavě – Kallistó má průměr 4280 km a Ganymedes je vůbec největší s průměrem 5276 km.

Abych nezapomněl na nejnovější výsledky, je nutno poznamenat, že planetě Jupiter se čas od času věnuje také Hubbleův kosmický dalekohled a na přelomu let 2000 a 2001 došlo k báječné spolupráci sond Galileo a Cassini. Jak je uvedeno výše, tak Cassini u Jupiteru získala potřebné zrychlení na cestě k Saturnu, ale při svém průletu soustavou Jupiterových satelitů se zaměřila jak na ně, tak na planetu samotnou, kde vyfotografovala nádherné polární záře v UV spektru, takže poprvé v historii byl král Sluneční soustavy sledován najednou dvěma sondami. (<http://www.jpl.nasa.gov>)

### **4.3. Malá tělesa Sluneční soustavy**

Sledování malých těles Sluneční soustavy je nejenom velmi dynamickým oborem astronomie, ale také určitě jedním z nejvýznamnějších oborů české profesionální astronomie. Máme u nás dva významné týmy – v Ondřejově a na Kleti. Pro mě má tento obor zvláštní příchut', protože na Kleti jsem prožil mnoho dní a s pozorováním planetek se tak osobně setkal.

Jak už jsem naznačoval dříve, právě zcela nový pohled na množství a rozmístění malých těles ve Sluneční soustavě, umožnil změnit i zažitou představu o podobě

Sluneční soustavy. A právě pozorování mnoha nových těles bylo umožněno, jak se zmiňuji v kapitole o technice, zavedením elektroniky (CCD kamer a počítačů) do dalekohledů. Jaké jsou tedy současné znalosti o planetkách a kometách?

#### 4.3.1. Planetky (asteroidy)

Pokud byste hledali nějakou definici, co je to planetka, pak zjistíte že hranice jsou poněkud nepřesné a je to zcela pochopitelné. Nejčastěji se jako o planetce hovoří tehdy, je-li rozměr tělesa od cca 10 metrů (<http://www.planetky.cz>), příp. 100 metrů (Kleczek, 2002) až do řádu stovek kilometrů. Největší doposud známá planetka je Ceres, která byla objevena už před více než 200 lety jako první. Její rozměr je necelých 1000 km. Počet planetek je opravdu velký. Jenom ve vnitřních částech Sluneční soustavy se jedná nejméně o 100 000 těles a pravděpodobně ještě více jich je za drahou Neptunu. Rozmístění planetek ve Sluneční soustavě je velmi překvapivé, jsou prakticky všude. Ale abychom se v tom vyznali, můžeme je přeci jenom nějak rozčlenit.

Nejznámější a také první objevenou skupinou jsou asteroidy nacházející se mezi drahami Marsu a Jupiteru. Dnes už je zřejmé, že i tato skupina se dělí na mnoho kategorií, které jsou uspořádány gravitační rezonancí jejich drah s Jupiterem (Kirkwoodovy mezery). Hlavní pás planetek se rozkládá ve vzdálenostech asi 2,1 až 3,3 AU od Slunce (srovnejme – Země 1 AU, Mars 1,5 AU, Jupiter 5 AU). Zajímavé skupiny planetek, které se v místech gravitační rezonance naopak seskupují jsou Hilda (asi 4 AU daleko od Slunce) a Trójané. Těch se většina nalézá v okolí libračních bodů Jupiter – Slunce,  $L_4$  a  $L_5$ . Zajímavým pravidlem pak je, nazývat jednu skupinu podle bojovníků na straně Řeků a druhé podle obránců Tróje. Tyto planetky ale opisují různé neuzavřené křivky kolem libračního bodu na dráze Jupiteru  $60^\circ$  před a  $60^\circ$  za planetou a výjimečně se některá může přestěhovat z jedné skupiny do druhé. Další zajímavou skupinou jsou planetky typu Hungaria (ty jsou blíže ke Slunci než hlavní pás – asi 1,8 až 2 AU).

Dráhy planetek hlavního pásu jsou ve většině případů již dobře patrné elipsy s výstředností nejčastěji kolem 0,01 – 0,3. Pokud má planetka opravdu velkou excentricitu, dá se také zvážit možnost, že se jedná o vyhaslé jádro bývalé komety. Sklony drah se pohybují nejčastěji do  $35^\circ$ , v průměru je to  $10^\circ$ .

Z hlediska života na Zemi je další zajímavou skupinou planetek rodina tzv. blízkozemních asteroidů (anglicky se nazývají NEO, Near-Earth Objects). I ta se dělí na tři podskupiny podle typu dráhy. Tělesa která mají většinu své dráhy uvnitř dráhy Země jsou typu Aten, ty které se pouze zvnějšku přibližují k dráze Země jsou typu Amor, a ty které mají většinu své dráhy za drahou Země jsou typu Apollo. Z nich se pak vyděluje ještě skupina planetek nejzajímavějších, potenciálně nebezpečných asteroidů (anglicky PHA, Potentially Hazardous Asteroids). Sem patří taková tělesa, která jsou větší než asi 160 metrů a přibližují se k Zemi na méně než 0,05 astronomické jednotky (což je asi 7,5 miliónu km – téměř dvacetinásobek vzdálenosti ze Země na Měsíc). Právě taková planetka by například při dopadu do moře (což je pravděpodobnější, vzhledem k jejich rozloze) způsobila vlnu tsunami,

kteřá by zničila pobřežní oblasti. Možná si někdo řekne, zda je vůbec riziko takové srážky se Zemí reálné. Odpovědí mu budiž krátery rozesté všude po Zeměkouli. Známý je například kráter v Arizoně o průměru 1,2 km, který je velmi mladý (stáří asi 50 000 let), nebo mnohem větší krátery z nejstarších období s průměrem až 200 km. Dnes je také prakticky jisté, že poslední velká katastrofa, která zahubila asi 75 % všech živých organismů na Zemi, nastala před 65 milióny let. Veřejnost si tuto událost spojuje především s vyhynutím dinosaurů. Tehdy na Zemi, do oblasti dnešního poloostrova Yucatan v Mexiku, dopadlo těleso asi 10 km velké. Nejúčvatnější divadlo se nám ale naskytlo v roce 1994 a buďme rádi, že tomu tak bylo několik set miliónů kilometrů daleko. V létě 1994 totiž do atmosféry planety Jupiter postupně vstupovala jednotlivá jádra komety Shoemaker-Levy 9. Tato kometa se k Jupiteru osudově přiblížila v roce 1992, který toto původně celistvé těleso roztrhal na více než 22 jadérek. O rok později byla objevena a nedlouho nato jsme se dověděli z jejího pohybu o té úžasné náhodě, že budeme svědky srážky s planetou v přímém přenosu. Dnes už je tedy možnost srážky Země s planetkou brána jako zcela samozřejmá a proto by bylo jedině dobře, kdyby byla tato nebezpečná tělesa objevena co nejdříve.

Další známou skupinou planetek jsou tzv. Kentauři. Název je to přiléhavý k tělesům jaksí napůl mezi kometami a planetkami. Tato tělesa jsou pravděpodobně na přechodové dráze mezi tělesy vzdálenějšími (transneptunickými) a planetkami hlavního pásu. Kentauři se nachází nejčastěji mezi Jupiterem a Neptunem. Zajímavým zástupcem těchto těles je asteroid (2060) Chiron. Zatímco dříve byl znám jako planetka na neobvyklé dráze, později u něj byla objevena kometární aktivita (zahalil se do mlhavého oblaku z částic, komy), proto jej dnes označujeme také jako periodickou kometu 95/P Chiron. Připomeňme též, že za zdroj meteorického roje Geminid je považována planetka Phaeton.

Do oblasti mezi Jupiterem a Neptunem se dostávají ještě tzv. Objekty rozptýleného disku (SDO – Scattered-Disk Objects), které mají vysokou excentricitu s aféliem hodnot až stovek AU.

Tím se dostáváme k tělesům za dráhou Neptunu. Teorii o existenci těchto těles vyslovili již v polovině 20. století Edgeworth a Kuiper, proto se tomuto uskupení těles kromě názvu Transneptunické objekty (anglicky Transneptunian object, TNO), dává také název (Edgeworthův-) Kuiperův pás. Dnes je zde známo už několik set objektů, ale je prakticky jisté, že pouze nedostatečná pozorovací technika nám skrývá skutečný počet těchto těles, jejichž počet zřejmě může přesahovat počet planetek uvnitř Sluneční soustavy. Kromě výše zmíněných planetek rozptýleného disku sem patří ještě další dvě skupiny těles.

První skupina má málo výstředné dráhy a nachází se v průměru 42 – 47 AU od Slunce. Podle prvního objeveného transneptunického tělesa 1992 QB1 se jim říká Cubewanos (Kubewanos). Druhá skupina je tvořena tělesy obíhajícími Slunce v rezonanci 3:2 s Neptunem (za jejich 2 oběhy vykoná Neptun 3 kolem Slunce). Protože podobnou rezonanci oběžné doby má i Pluto, říká se jim Plutinos.



Jak jsem uvedl již dříve, velkým problémem, poté co bylo objeveno mnoho těles za dráhou Neptunu, je umístění Pluta mezi planetami. Dnes je již obecně přijímanou myšlenkou, že Pluto je vlastně největším (doposud známým) zástupcem Kuiperova pásu. Odpovídá tomu jak jeho dráha, tak složení. Donedávna se dalo argumentovat jeho velikostí a také tím, že má neobvykle velký měsíc Charon (hovoří se také o dvojplanetě). Dnes jsou známy podobné objekty, například těleso objevené na sklonku 20. století, 2000 WR106 je zřejmě jen o něco málo menší než Charon, tedy téměř poloviční vůči velikosti Pluta. Nejčerstvějším objevem pak jsou objevy dvojplanetek v této odlehle oblasti, které jsou sice menší, ale svým charakterem podobné soustavě Pluto-Charon. (<http://www.planetky.cz>; Kleczek, 2002)

#### 4.3.2. Komety

Jen těžko byste mezi objekty nočního nebe hledali přitažlivější objekt k pozorování než je kometa. Tyto objekty uchvacují lidstvo odpradáva, zvláště když se náhle objeví, zazáří a zase zmizí. Ale většina komet je poněkud jiná. Co o nich dnes víme?

Běžná kometa není nic jiného, než obrovský slepenec ledu a prachových částic či balvanů veliký nejčastěji do jednoho, občas do deseti a výjimečně i několika desítek kilometrů. Led v jádru je nejen vodní, ale také metanový či amoniakový. Tomuto „slepenci“, který výstižně nazval Fred Whipple „špinavá sněhová koule“, říkáme jádro komety. Jak jsem již uvedl, předpokládá se, že drtivá většina jader komet se nachází v tzv. Oortově oblaku, který se rozkládá v podobě jakési kulové vrstvy široké stovky miliónů kilometrů na hranicích Sluneční soustavy. Co přivedlo Jana Oorta v roce 1950 na tuto myšlenku? Odpověď hledejme v množství pozorovaných komet, ale také ve směru, z něhož komety ke Slunci přilétají. Ten je zcela libovolný. Každý rok pozorujeme komet několik desítek. Protože kometární jádro se neustálými oběhy kolem Slunce vyčerpává, kometa za nějaký čas vyhasne. A tato doba je velmi krátká ve srovnání se stářím Sluneční soustavy. Kdyby tedy nebyla nějaká zásobárna komet, musely by se už dávno všechny vyčerpat a zmizet z nočního nebe. Hrubým odhadem se pak dospělo k závěru, že kometárních jader musí být daleko za hranicemi oběžných drah planet velké množství. Dostatečně velké, aby stihlo zásobovat vnitřní oblasti Sluneční soustavy dostatkem (pozorovaných) komet, splňujících i podmínku, že se objevují prakticky z kteréhokoli směru.

Protože Slunce ani ostatní hvězdy nejsou nehybné, dochází ke gravitačním poruchám, způsobeným kolem prolétajícími hvězdami. Přitom se z Oortova oblaku vychýlí velké množství kometárních jader. Některá se vydají pryč od Slunce, ale jiná naopak dovnitř Sluneční soustavy. Po velmi protáhlé eliptické dráze nakonec přiletí ke Slunci. Na jejich dráhu však často působí svou gravitací velké planety, hlavně Jupiter. Pak může dojít ke zkrácení oběžné doby komety. Může se z ní stát jak těleso transneptunické, tak krátkoperiodická kometa.

Jestliže takové kometární jádro přilétá ke Slunci, začínají se s ním v důsledku působení slunečního záření a větru, dít podivuhodné věci. Jak se jádro ohřívá, vypařují se z jeho povrchu částice ledu, které blíže ke Slunci doprovází také uvolněný

prach. Kolem jádra se vytváří stále větší shluk uvolněných částic, hlava komety – koma. Je to útvar opravdu velký. Mívá v průměru i přes milión kilometrů (u velkých komet) a tak svojí velikostí hravě soupeří s velikostí Slunce (na rozdíl od něj má ale nepatrnou hmotnost). Jak se kometa přibližuje více ke Slunci, začíná se stále více projevovat účinek tzv. slunečního větru. Je to proud nabitých částic (protonů, elektronů apod.), které jsou hnány spirálovitě přímo od Slunce. Následky působení slunečního větru jsou tím nejkrásnějším, co můžeme u komet spatřit – vytváří se ohon. Není bez zajímavosti, že ohon nebývá jediný, ale jsou nejčastěji dva. Z částic plynu, který je slunečním zářením excitován, vzniká ohon plasmový. Částice zde unášené jsou lehké a proto směřují tyto ohony jakoby přímo od Slunce. Na barevných fotografiích mají modrou barvu, protože převažují excitované molekuly  $\text{CO}^+$  (které září v modré části spektra), v detailech je pak nádherně patrná jejich „vlasová“ struktura, kterou dobře vystihuje lidový název komet – vlasatice. Druhý ohon je prachový. Částice prachu jsou těžší a jestliže je tedy strhává zpět gravitace Slunce, dochází k zakřivení těchto ohonů. Protože od prachu se odráží sluneční světlo, jeví se tento typ ohonu jako žlutobílý. Dobrým příkladem komety s dvěma ohony je i nedávná velká kometa konce 20. století C/1995 O1 (Hale-Bopp). Více o této kometě se dočtete v elektronické příloze. Právě u komety Hale-Bopp byl zaznamenán ještě třetí ohon, normálním způsobem neviditelný, složený z atomů sodíku. To byl velmi pozoruhodný objev, stejně jako to, že u této komety se plasmový ohon nacházel i uvnitř ohonu prachového, což je jev obtížně vysvětlitelný.

Zajímavý objev byl učiněn též při průletu komety C/1996 B2 (Hyakutake) v roce 1996. Od komety bylo totiž zachyceno mimo jiné i rentgenové záření. Mělo se sice za to, že se jedná o odraz záření ze Slunce, ale dnes se zdá, že mělo svůj původ v kometě. Čerstvou novinkou pak je, že kometa Hyakutake měla neobvykle dlouhý ohon, neboť ještě na jaře roku 2001 jím prokazatelně proletěla sonda Ulysses (určená ke studiu Slunce z polární dráhy). Díky návratům komet Hale-Bopp i Hyakutake se tedy naše znalosti o kometách podstatně prohloubily.

Proč je vlastně o studium komet takový zájem? Důvod je zřejmý. Po vzniku Sluneční soustavy byl materiál použit buď na stavbu planet, nebo byl odsunut na okraj Sluneční soustavy po zažehnutí termojaderných reakcí v nitru Slunce. Tento předpoklad znamená, že komety jsou materiálem, který tu zbyl po zrodu Sluneční soustavy. Proto jsou již všichni zvědaví na výsledky sondy Stardust, která má po roce 2006 dopravit vzorky materiálu komety P/Wild 2 na Zemi. (<http://www.komety.cz>, <http://encke.jpl.nasa.gov>)

#### **4.3.3. Meteorické roje, bolidy a meteority**

Jak se časem ukázalo, s kometami úzce souvisí většina meteorických rojů. Naproti tomu meteority jsme našli většinou po pádu těles, která obíhala na drahách podobných blízkozemním planetkám.

Meteorický roj je shluk velkého množství malých prachových částic, které se uvolnily z kometárního jádra. Časem se tyto částice shlukují podél dráhy komety. Čím je roj mladší, tím více nepravidelná je hustota roje a tím je také případný

meteorický déšť krásnější. Abychom pochopili, co pozorujeme, když vidíme „padající hvězdy“, jak se meteorům často lidově říká, musíme si objasnit některé pojmy.

K tomu, aby vznikl meteorický roj je v drtivé většině případů zapotřebí nějaké komety, která se svojí dráhou přibližuje k dráze Země nebo ji křížuje. Takovými kometami jsou například nejznámější Halleyova, nebo komety Tempel-Tuttle a Swift-Tuttle. To jsou mateřské komety některých rojů (květnové éta Akvaridy a říjnové Orionidy pochází z komety Halley, známé letní Perseidy má na svědomí kometa Swift-Tuttle a listopadové Leonidy kometa Tempel-Tuttle). Zvláštností zůstává roj prosincových Geminid (o němž se také zmiňuji v příloze), neboť jeho zdrojem není kometární jádro, ale planetka Phaeton. (<http://www.spaceweather.com>, 2002)

Nyní si představme, že se Země dostane na své oběžné dráze do takového oblaku částic meteorického roje. Protože jednotlivá zrnka spolu letí prakticky rovnoběžně (a to i dosti velkou rychlostí desítek kilometrů za sekundu), dochází při střetu se Zemí k efektu, který si nejlépe představíte při pohledu na dlouhou rovnou železniční trať nebo silnici. Tím jak se rovnoběžné přímky do dále sbíhají, jeví se i pozorovateli meteorů, jakoby vylétaly z jednoho místa na obloze. Toto místo pak nazýváme radiant a nachází se v souhvězdí, podle něhož také roje nazýváme. To znamená, že meteor lze spatřit kdekoli na obloze, i když stojíte zády k radiantu, ale když si dráhy jednotlivých stop prodloužíte, protnou se právě v onom souhvězdí.

Protože meteorická tělíska letí velkou rychlostí (řádově desítky kilometrů za sekundu, mají také velkou hybnost, nebo chcete-li energii. Známý fyzikální vztah udává, že hybnost  $p$  vypočteme, násobíme-li hmotnost  $m$  rychlostí  $v$ . Podobně kinetická energie  $E_k$  je závislá přímo úměrně na hmotnosti, ale už kvadraticky na rychlosti.

$$p = m \cdot v \qquad E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Proto jsou také částice meteorických rojů velmi nebezpečné pro všechny družice v okolí Země. Srážka s tímto nepatrným prachovým zrnkem může znamenat konec pro celý satelit. Není to jenom hrozba, takový případ byl už nejméně jednou zaznamenán a je zvláště aktuální v nynějších letech, kdy nás navštěvuje bohatý oblak roje Leonid. Podle všeho se však všechny dosavadní návraty hustého oblaku Leonid obešly bez následků.

Odpověď na otázku, co je vlastně meteor, je poměrně jednoduchá. Jedná se o světelný úkaz v atmosféře, kdy prudce vlétající částička prachu se zahřeje, při svém vypařování svítí a spolu s ní se ionizuje i okolní plyn. Proto pozorujeme nejen svítící bod, ale i stopu, kterou po průletu částice zanechá. Doba viditelnosti této stopy je většinou krátká a souvisí pouze se setrvačností lidského oka, které ponechá světelný vjem ještě asi 0,1 sekundy poté, co nastal. U zvláště jasných meteorů a bolidů je



situace trochu odlišná, protože zde už po průletu můžeme pozorovat přímo ionizovanou atmosféru svítící i desítky minut.

To jsou tedy meteorické roje. Ale v noci lze samozřejmě pozorovat celou řadu dalších meteorů. Těm říkáme sporadické, neboli náhodné. Jedná se o kosmické smetí, které se pohybuje všude kolem a čas od času z různých směrů zasáhne naši planetu. Jak ukazují poslední studie (<http://www.planetky.cz>), zdrojem těchto meteoroidů je pásma planetek mezi drahami Marsu a Jupiteru. Zde vlivem gravitačních poruch dochází k tříštění asteroidů a vychylování meteoroidů na dráhy blíže ke Slunci, kde obíhá také Země.

Některé meteory ale bývají velmi jasné. Nazýváme je bolidy, nebo dokonce denní bolidy (to když jsou tak jasné, že je lze vidět i ve dne). V případě těch nejjasnějších můžeme někdy očekávat nalezení zbytku tělesa, které přežilo let atmosférou. A právě toto se nazývá meteorit (s nímž bývá často zaměňován meteor, jakožto světelný úkaz v atmosféře, případně meteoroid, což je částice v meziplanetárním prostoru). Velmi slavný případ denního bolidu nastal 6. května 2000 nad severovýchodní Moravou a ve Slezsku. Byl zde pozorován a dokonce nafilmován přelet velmi jasného tělesa, které posléze vybuchlo a zasypalo svými úlomky velkou část Moravskoslezských Beskyd. Na základě pozorování očitých svědků a hlavně videozáznamů se podařilo spolehlivě určit původní dráhu tělesa ve Sluneční soustavě. Navíc se podařilo nalézt brzy po dopadu hned tři meteority (<http://www.asu.cas.cz/~borovic/bolid.htm>, 2003). Toto je velmi vzácná a světově významná událost, neboť se jedná teprve o 5. těleso se známou dráhou, k němuž byl také nalezen meteorit. A nutno dodat, že světové prvenství v tomto oboru drží také československá astronomie s proslulou bolidovou sítí, která se začala budovat v roce 1951 pod vedením Zdeňka Ceplechy. Díky ní byl nalezen meteorit po přeletu jasného bolidu, u nějž byla poprvé určena také předcházející dráha ve Sluneční soustavě. Jednalo se o meteorit Příbram ze 7. dubna 1959 (<http://www.ian.cz>, číslo 251). Podobná událost se odehrála ještě pouhé čtyři dni po přeletu bolidu Morávka ze 6. 5. 2000. Dne 10. května byl nad naším územím pozorován přelet dalšího denního bolidu, který skončil kdesi nad maďarsko - rakouským pomezím. S předchozím případem ale neměl nic společného. Velmi významný je i pád bolidu nad územím Kanady z ledna 2000, kde se střetlo se Zemí těleso o nízké hustotě, veliké asi 5 metrů. Poté, co vybuchlo asi 25 km nad zemí, zasypalo meteority okolí jezera Tagish Lake, kde je našli místní lidé v obrovském počtu. Navíc jde o vzácné uhlíkaté chondrity. Ty se totiž obvykle na povrch Země nedostanou a vypaří se již v atmosféře. Závěrem uvádím ještě čerstvou informaci z amerického Chicaga 26. března 2003, kde po přeletu jasného bolidu zasypaly meteority obytnou čtvrť. Některým obyvatelům tak spadly meteority rovnou do bytu, což jim sice poničilo majetek, ale vše jistě vynahradila následná popularita (viz. obrazová příloha). Život v tomto oboru přichystá někdy skutečně neuvěřitelné věci. (<http://www.astro.cz>)

#### 4.3.4. Zodiakální (zvířetníkové) světlo

Alespoň krátkou zmínku bych chtěl věnovat tomuto zajímavému úkazu, který máme možnost nejsnáze pozorovat v období kolem jarní a podzimní rovnodennosti. Tehdy se v okolí ekliptiky zjeví slabá záře kuželovitého tvaru nejširší při obzoru a viditelná asi do výšky 30 stupňů. Jedná se o Sluncem nasvícené všudypřítomné částice meziplanetárního prachu, kterých je nejvíce v rovině slunečního rovníku, kterým Země v době rovnodennosti prochází. Myslím ale, že lepší bude, pokud vám k pozorování tohoto úkazu pomůže fotoaparát umístěný v horách daleko od civilizace. Nabyl jsem totiž dojmu, že na toto pozorování už není v naší zemi přes světelné znečištění umělého osvětlení vhodné místo. Budiž nám nadějí nový zákon, který má toto znečištění omezit, ale obávám se, že to bude ve výhledu desetiletí. (Kleczek, 2002, <http://svetlo.astronomy.cz>)

#### 4.4. Vznik Sluneční soustavy

Teorií o vzniku Sluneční soustavy se objevilo mnoho, jen některé ale dodržely ten základní princip, aby v jejich důsledku také vznikla taková soustava, jakou pozorujeme dnes. Jako nejpravděpodobnější ze všech se prokazuje teorie vzniku z pramlhoviny.

Jistě mnozí z vás už někdy viděli nějakou vesmírnou mlhovinu. Na barevných fotografiích mívají červenou barvu, to je dáno vyzařováním převažujícího vodíku. A právě v takových mlhovinách vznikají nové hvězdy a kolem nich pak planetární soustavy. Toto je nejlépe pozorováno uvnitř Velké mlhoviny v Orionu. Již pouhým okem ji zahlédnete jako načervenalou hvězdičku pod pásem tohoto souhvězdí. HST zde pozoroval nejen vznikající, ale i čerstvě vzniklé hvězdy, ale také tzv. protoplanetární disky. A o ty nám jde nejvíce.

Naše soustava totiž vznikla zcela podobným způsobem. V jedné z takových pramlhovin se začala formovat prahvězda. Kolem zárodku hvězdy se pak soustředila hmota, nejprve v podobě kulové, či podobě jakési bipolární struktury. V rovině rotace se pak časem nahromadilo nejvíce látky a vytvořila se planetární soustava (kondenzací na větší částice, shlukováním a srážkami těchto částic, později tzv. planetesimál). Teplota v centru prahvězdy neustále rostla s tím, jak se smršťovala, až se zažehly termojaderné reakce. Z původní hmoty disku vznikl oblak komet, který však byl hvězdným větrem vymeten do vzdálených oblastí Sluneční soustavy, především Oortova oblaku kometárních jader.

## 4.5. Sluneční soustava – doplněk

**Tabulka č. 2,** Parametry planet Sluneční soustavy (Krisciunas, Yenne, 1995; Kleczek, 2002; Příhoda, Holovská, 1996, <http://www.jpl.nasa.gov>)

	Merkur	Venuše	Země	Mars	Jupiter	Saturn	Uran	Neptun	(Pluto)
<b>Rov. průměr (km)</b>	4 878	12 102	12 756	6 794	143 760	120 420	51 300	49 500	2 324
<b>Hmotnost (kg)</b>	$3,3 \cdot 10^{23}$	$4,9 \cdot 10^{24}$	$6,0 \cdot 10^{24}$	$6,4 \cdot 10^{23}$	$1,9 \cdot 10^{27}$	$5,7 \cdot 10^{26}$	$8,7 \cdot 10^{25}$	$1,0 \cdot 10^{26}$	$1,3 \cdot 10^{22}$
<b>Hustota (kg/m<sup>3</sup>)</b>	5 432	5 248	5 515	3 930	1 330	710	1 240	1 670	2 000
<b>Doba oběhu (roky)</b>	0,241	0,615	1,000	1,880	11,862	29,458	84,013	164,794	248,430
<b>excentricita dráhy</b>	0,206	0,007	0,017	0,093	0,048	0,052	0,045	0,007	0,255
<b>sklon dráhy k ekliptice (°)</b>	7,00	3,39	0,00	1,85	1,30	2,48	0,77	1,77	17,12
<b>Prům. vzdál. od Slunce (AU)</b>	0,387	0,723	1,000	1,523	5,202	9,548	19,287	30,245	39,822
<b>Doba otočky (dny)</b>	58,65	243	1	1,03	0,41	0,44	0,72	0,67	6,4
<b>Sklon rot. osy (°)</b>	7,00	177,40	23,45	23,98	3,08	26,73	97,92	28,80	118,50
<b>Počet měsíců</b>	0	0	1	2	39	31	21	11	1

Je-li úhel rotační osy nad 90° otáčí se planeta retrográdně (opačně než Země).

**Tabulka č. 3,** Přehled významných meteorických rojů na přelomu 20. a 21. století (<http://www.spaceweather.com>, 1999-2003; Kleczek, 2002)

Název meteorického roje (podle souhvězdí, v němž je radiant)	Mateřský objekt	Datum maxima	Počet meteorů viditelných za hodinu
Quadrantidy (asi 20° ve směru oje Velkého vozu v souhvězdí Pastýře)	? (kometa)	3. / 4. 1.	45 - 200
Lyridy (nedaleko Vegy)	Kometa Thatcher	21. 4.	10 (ojediněle až 100)
Éta Aquaridy	Kometa Halleyova	5. 5.	20 (u nás) – 50 (j. pol.)
Červnové Bootidy	Kometa Pons-Winnecke	28. 6.	1-2 (až 100 v r. 1998)
Perseidy	Kom. Swift-Tuttle	12. 8.	80 (1992 až 400)
Orionidy	Kometa Halleyova	22. 10.	20
Leonidy (u hlavy Lva)	K. Tempel-Tuttle	17.-18.11.	10-15 (meteorické deště)
Geminidy (nad hlavami Blíženců)	Planetka Phaeton	13. 12.	80

### Snímky ze SOHO

Přístroje MDI, EIT, LASCO C3 (modré snímky) a LASCO C2 (červené snímky) a další přináší mnoho zajímavých poznatků.

Komety – nemívají v blízkosti Slunce obvyklý směr ohonů od Slunce. Naopak je nápadné jejich opoždění v pootočení vzhledem ke Slunci při průletu komety periheliem. (Např. animace průletu komety 95/P Machholz, C/2002 V1 (NEAT) aj.).

CME (Coronal Mass Ejection) – výron hmoty do koróny. Doprovází většinu velkých erupcí na Slunci. Nastane-li erupce v aktivní oblasti, která se nachází poblíž středu slunečního disku, je poté CME namířena směrem k Zemi. Tehdy může mít tvar rozšiřujícího se kruhu a při velké erupci dojde k zahlcení detektoru dopadajícími částicemi (zrnění). Pokud rázová vlna ve slunečním větru způsobená CME dorazí k Zemi, může způsobit polární záři (ta ovšem může vzniknout i tehdy, je-li k Zemi namířena koronální díra). Rychlost slunečního větru je běžně  $300 - 500 \text{ km.s}^{-1}$ , ale po CME může dosáhnout i hodnot nad  $1000 \text{ km.s}^{-1}$ . Zvláště nadějně vyhlídky na polární záři přináší tzv. kanibalismus jednotlivých rázových vln slunečního větru, kdy rychlejší později vyvolaná CME pohltí jednu nebo několik slabších před ní. Poté, co dorazí výsledná vlna k Zemi, mohou být polární záře obzvlášť intenzivní.

Helioseismologie (sluncetřesení) – pojem související s obdobným jevem na Zemi. Pomocí přístroje MDI jsme schopni lépe prozkoumat nitro Slunce. (Astropis 1/2003)

Protuberance – příklady řady protuberancí lze sledovat na ultrafialových snímcích všemi filtry přístroje EIT. (<http://sohowww.nascom.nasa.gov>)

#### **Erupce 2. 4. 2001**

Unikátní záznamy velmi silné erupce v aktivní oblasti NOAA 9393. Tato aktivní oblast přetrvávala na Slunci po dobu několika otoček a vždy byla doprovázena velkými skvrnami a aktivitou. 2. dubna 2001 zde došlo k velmi silné erupci, kterou zaznamenala v několika oborech spektra sluneční observatoř Big Bear Solar Observatory a sonda SOHO. (<http://www.bbso.njit.edu>)

#### **Annalema**

Pokud bychom fotografovali Slunce vždy ve stejnou denní dobu, zjistíme různé polohy Slunce vzhledem k obzoru. Výchylku ve svislém směru vysvětlíme obecně známým faktem, že Slunce je v zimě níže než v létě a kromě toho platí, že Slunce se nepohybuje po ekliptice rovnoměrnou rychlostí (eliptická dráha Země), což má za následek výchylku do stran. Křivce ve tvaru osmičky, kterou takto Slunce vytvoří říkáme annalema. (Kleczek, 2002)

#### **Přechody planet přes sluneční disk**

Období počátku 21. století je z hlediska těchto úkazů příznivé. Přechody Merkuru jsou relativně časté a tak přestože jsme neviděli nejbližší minulý z roku 1999 (nastal když bylo Slunce pod obzorem), měli jsme tuto možnost již roku 2003. Další nastane v roce 2006, ale u nás uvidíme až přechody 2016, 2019 a 2032. Mnohem vzácněji nastávají také přechody Venuše. Pro lepší představu dodám, že u nás byl tento úkaz pozorovatelný naposledy 3. 6. 1769 před západem Slunce a vůbec naposledy nastal tento úkaz 6. 12. 1882. Zato nyní nás čekají s odstupem osmi let další dva přechody a oba budou od nás viditelné.

**Tabulka č. 4,** přechody planet přes sluneční disk (Astropis 1/2003, výpočty)

datum	viditelnost od nás	datum	viditelnost od nás
15. 11. 1999	NE	6. 6. 1761	ANO
7. 5. 2003	ANO	3. 6. 1769	ANO
8. 11. 2006	NE	9. 12. 1874	NE
9. 5. 2016	ANO	6. 12. 1882	NE
11. 11. 2019	ANO	8. 6. 2004	ANO
13. 11. 2032	ANO	6. 6. 2012	ANO

Jinak o Merkuru se obecně soudí, že je nejhůře pozorovatelný pro svou malou výšku nad obzorem i v době největších elongací od Slunce (právě proto jej opravdu nejlépe uvidíte při jeho přechodu přes Slunce). Pro ilustraci najdete v příloze snímky Merkuru (27. ledna 2001) pořízené fotoaparátem s objektivy 52 mm (pohled okem) a 135 mm (mírné přiblížení) – expozice mají délku 5 až 7 sekund (film 200 ASA, snímky tmavší po úpravě jasu). Obecně doporučuji sledovat Merkur v zimních měsících a zároveň tehdy, když má jasnost pod 0 magnitud. To samozřejmě neznamená, že bychom jej neviděli v červnu, ale chvění vzduchu bývá příliš velké.

### Venuše

Její povrch byl velmi pozměněn geologickými vlivy, především sopečnou činností. Příkladem jsou snímky sopek a lávových struktur.

K nejobtížnějším pozorováním patří sledování Venuše kolem dolní konjunkce se Sluncem. Důrazně jej nedoporučuji, nemáte-li velký přístroj a kopuli, neboť hrozí oslnění Sluncem! Sám jsem Venuši pozoroval tři dni před dolní konjunkcí v srpnu 1999. Viditelná byla jako nesmírně tenký srpek, kdy konce jakoby přesahovaly oba póly. V příloze je též snímek J. W. Younga, který vyfotografoval Venuši v dolní konjunkci 20. 6. 1964 pouhé 2 stupně od Slunce!

### Země

Kapitola o Zemi je doplněna řadou pohledů na modrou planetu. Kromě vynikajících celkových záběrů chci upozornit na snímky s vysokým rozlišením družice Ikonos. (<http://www.spaceimaging.com>)

Dále upozorňuji na refrakci, kde najdete vynikající animaci z ISS, která ji dokumentuje ještě lépe, než to lze pozorovat např. při západu Slunce na Zemi. Snímek Orionu je ve spodní části silně deformován (Rigel v podobě čárečky). (<http://science.nasa.gov/ppod>)

Přidal jsem také snímky zajímavých atmosférických jevů, jako jsou polární záře, blesky, halové jevy a duha.

Zmiňoval jsem se i o světelném znečištění. Tento pojem je mírně nepřesný, ale dobře vystihuje danou situaci. Od roku 2002 jej řeší novela Zákona č. 309/1991Sb. O ochraně ovzduší. Snímky z družic, které ukazují přesvětlení oblastí na Zemi,

neodpovídají úplně skutečnosti, protože měří především svícení kolmo nahoru, ale zajímavé by byly i směry šikmé k obzoru tak, jak nás v noci lampy oslňují. (<http://svetlo.astronomy.cz>)

## Měsíc

Vybral jsem některé snímky z amerického lunárního programu a svoje fotografie přes refraktor 300/4500 mm na Kleti. Mým oblíbeným útvarem na Měsíci je mimo jiné Rupes Recta (kráter zaplněný lávou, uvnitř něhož je hráz v podobě meče) viditelné dobře pouze v jediném dni kolem čtvrti.

Kromě toho se mi již trochu povedlo vyfotit tzv. popelavý svit Měsíce. Jedná se o situaci, kdy vedle jasného srpku Měsíce vidíme i druhou část, která je osvětlena odraženým světlem od Země (tu bychom tedy na Měsíci viděli téměř v úplňku). Tento popelavý svit je viditelný dalekohledem ještě zhruba do první čtvrti.

Ještě „mladší“ Měsíc, tedy pár desítek hodin po novu, se povedlo vyfotografovat Jakubu Kenclovi 13. 5. 2002. (<http://jakub.webz.cz>)

## Mars

Právě pro snímky z marsovského povrchu je typické, že bývají pořizovány stereokamerami, což následně umožňuje 3D pohledy se speciálními brýlemi. V archívu najdete snímky sondy Mars Pathfinder z roku 1997. Obdobné bychom měli obdržet od sond z roku 2003/2004. Kamera pro pořizování snímků bývá umístěna ve výšce 1,5 m a objektivy jsou vzdáleny kolem 7 cm jako u lidských očí. Brýle si vyrobíme snadno z červené a modré (popř. zelené) fólie. Červená se pak dává na levé oko. Dají se též sehnat z knihy o Marsu. (Heuseler, Jaumann, Neukum, 1999)

Prachové bouře – je-li Mars poblíž přísluní, dostává se mu díky jeho výstředné dráze více energie od Slunce. Nezřídka vznikají lokální prachové bouře, které mohou nabýt celoplanetární charakter. Tehdy na Marsu dalekohledem místo obvyklých polárních čepiček a světlých či tmavých skvrn žádné podrobnosti nespatříme.

Tvář na Marsu – v 70. letech přišly na Zemi ze sond Viking zajímavé snímky skalních útvarů. Díky vhodnému osvětlení jsme tak mohli obdivovat pyramidy nebo známou marsovskou tvář. Snímky s extrémně vysokým rozlišením sondy Mars Global Surveyor měly za úkol vyvést z omylu i nejbláznivější snílky o marsovském inteligentním životě.

Mars Global Surveyor – na snímcích naleznete především projevy pohybu vzduchových hmot (duny, prachový d'ábel), ale především důkazy kryogenních pohybů. Zdá se, že na některých místech v geologické současnosti natály podpovrchové zásoby ledu a nalézáme tak struktury s pravouhlými stěnami, nebo známé stružky a rýhy na okrajích kráterů (Hale).

Olympus Mons – největší sopečný útvar ve Sluneční soustavě (průměr 550 km, výška 27 km, šířka kaldery 72 km). Povšimněte si na plastickém záběru lávových proudů daleko od hory. Pro ilustraci – zřícené svahy tvořící levou dolní část hory mají výšku 5 km. Pocit výšky byste ale na vrcholu neměli, sklon svahů je nesmírně malý (7°).



Měsíce Marsu – Phobos (strach) a Deimos (hrůza). Objeveny byly koncem 19. století A. Hallem, který v té době zkoušel nový velký čočkový refraktor. Jeho žena Stickney je zastoupena na Phobosu největším kráterem vyfotografovaným sondou Viking 1. V případě obou měsíců se zřejmě jedná o zachycené planetky, což by mohla dokazovat i jejich retrogradní oběžná dráha vůči směru rotace planety. (<http://www.jpl.nasa.gov>)

## **Jupiter**

Snímky které jsem pořídil přes refraktor na Kleti dokumentují pohled na Jupiter menšími dalekohledy, přičemž fotografie ani není schopna zachytit množství detailů, viditelných v té době okem. To lze napravit fotografováním pomocí webkamery, což je velmi levné a účinné. Množství velmi krátkých expozic se složí do jednoho snímku a výsledkem je velmi ostrý záběr planety i přes menší dalekohled (<http://foto.astronomy.cz>).

Většina vybraných snímků Jupiteru a jeho největších měsíců je z posledních výzkumů sondy Galileo nebo Cassini. Najdete zde i starší záběry sond Voyager.

Na žádném tělese Sluneční soustavy se tak rychle nemění povrch, jako na Ió. V důsledku silné sopečné aktivity již po dvaceti letech vidíme zcela odlišný povrch (Voyager vs. HST, Galileo).

Důležitým objevem sondy Galileo je potvrzení existence vodního oceánu pod ledem měsíce Europa. Ještě překvapivější je objev vodního oceánu menšího rozsahu také na Callistó. (<http://www.jpl.nasa.gov>)

## **Saturn**

Také Saturn jsem zkoušel fotit přes velký dalekohled na Kleti. S odstupem dvou let lze sledovat změnu úhlu natočení prstenců a na lepším snímku i náznak Cassiniho dělení. Opět připomínám, že minimálně totéž uvidíte již malým dalekohledem a větší přístroje ukáží i několik jeho měsíců (Titan viditelný triedrem).

Změny ročních období na Saturnu (a tedy i úhlu natočení prstenců) jsou dány skloněnou rotační osou zhruba jako u Země ( $26,73^\circ$ ). Protože doba oběhu Saturnu je 29,5 roku, opakují se zhruba každých 15 let průchody rovinou prstenců planety. Tehdy malým dalekohledem žádné prstence neuvidíme. Tak tomu bylo v roce 1995 a opět bude v roce 2009.

Prstence dělíme na několik základních částí označovaných A až G. Každý je pak dále členěn na množství jemných prstýnků. Skládají se z tělísek hornin a ledu. Tloušťka jasných prstenců není větší než 200 metrů. Částice mají velikost od  $\mu\text{m}$  do desítek metrů. Uvnitř prstenců se nachází jistě také řada menších satelitů (pod 5 km). Ty větší, které již známe, ovlivňují prstence svojí gravitací. (Příhoda, Holovská, 1996, <http://www.jpl.nasa.gov>)

## **Uran**

Planeta je na hranici viditelnosti pouhým okem. Máte-li dobrý zrak a tmavou oblohu, mohli byste jej jako velmi slabou hvězdičku spatřit. Většině z nás se to ale nikdy nepodaří. Však byl také objeven teprve teleskopicky 13. 3. 1781 W. Herschelem při náhodné prohlídce oblohy. Dřívější pozorovatelé jej považovali za hvězdu.

Zvláštěností je skloněná rotační osa tak, že se díváme jakoby na jeden s pólů. Dobře to ukazují snímky z HST.

Prstence byly objeveny při zákrytu hvězdy Uranem roku 1977. Tvoří jej větší kusy a jemný prach, středně velké částice chybí.

Z měsíců je nejzajímavější Miranda. Vypadá jakoby došlo k roztříštění a opětovnému slepení jednoho satelitu.

## **Neptun**

Je známo, že planetu Neptun vyhledali hvězdáři na základě výpočtů poruch dráhy planety Uran (J. C. Adams a U. J. Leverrier). Ta se totiž opožďovala, nebo předbíhala, oproti vypočtené poloze. 23. 9. 1843 ji našel J. Galle v Berlíně, když srovnával pohled dalekohledem s právě vyšlými mapami oblohy vypočtené oblasti. Neptun se nacházel pouze 1° od vypočtené pozice. Také Neptun byl pozorován už dříve, ale byl považován za hvězdu. Při zakreslování jupiterových satelitů jej zaznamenal již G. Galilei 1612 – 1613.

V atmosféře Neptunu byly sondou Voyager 2 fotografovány různé světlé i tmavé atmosférické útvary (Velká tmavá skvrna, oblak „Scooter“, řasová oblaka vysoko nad souvislou oblačnou vrstvou). Trvání těchto útvarů není takové jako u Jupiteru, což doložily záběry HST.

Také u Neptunu byly krátce před průletem Voyageru objeveny prstence při zákrytu hvězdy. Sonda potvrdila existenci čtyř prstenů s velkou nehomogenitou.

Obrovský měsíc Triton obíhá planetu nezvykle retrográdně na tak velkou družici. Jedná se o geologicky velmi zajímavé těleso. Z teplejších podpovrchových vrstev totiž pravděpodobně uniká plynný dusík a strhává krystalky ledu, čímž jsou vytvářeny jakési gejzíry. Voyager 2 zaznamenal nejméně čtyři z nich v činnosti. Pohled na Triton je možná podobný pohledu na tělesa za dráhou Neptunu nebo na Pluto. (Příhoda, Holovská, 1996, <http://www.jpl.nasa.gov>)

## **Pohyb planet na obloze**

V důsledku skládání pohybů Země a planety dochází na obloze k jevu, kdy se planeta nepohybuje stále přímo, ale občas se zastaví, udělá kličku a pokračuje zase dál. Hezkým příkladem je animace v příloze.

## **Portrét**

Když opouštěla sonda Voyager soustavu planet, ještě jednou se ohlédla směrem ke Slunci, aby nám ukázala, jak nicotně malá je naše Země vzhledem k vesmíru.



## 5. Vzdálený vesmír

V této kapitole bychom se měli vydat lidově řečeno do světa. Jestliže doteď jsme se seznamovali s naším nejbližším okolím, vydáme se dále za hranice Sluneční soustavy a později také ven z naší Galaxie.

Stojím-li v kopuli Klet'ské hvězdárny o průměru 8 metrů a vysvětluji-li návštěvníkům, jak veliký je vesmír, snažím se pomoci si nějakými představitelnými měřítky. Většina lidí si dokáže představit velikost naší republiky a možná tak trochu i nesmírnou velikost Země. Snažím se vysvětlit, že kdyby ji obletěli desetkrát kolem rovníku, urazí přibližně dráhu ze Země na Měsíc. Je to vzdálenost, kterou světlo urazí přibližně za 1 sekundu. Nesmírná vzdálenost ze Země ke Slunci (150 mil. km) je pro světlo otázkou cesty 8,5 minuty dlouhé. Máme-li putovat se světelným paprskem na hranice planetárního systému, bude nám to trvat už 4 hodiny.

Jestliže kopule, ve které stojíme nám představuje planetární soustavu, pak Slunce uprostřed by bylo v tomto měřítku pouze 1 mm veliké. Země by měla rozměr větší molekuly a obíhala by ve vzdálenosti 13 cm od středu. Taková je moje přibližná představa planetární soustavy. Ve větším měřítku již značně pokulhávám.

Na nebi pozorujeme pouhým okem několik set až tisíc hvězd. Ty nejjasnější tvoří souhvězdí. Všechny tyto hvězdy jsou ale pouze tím nejbližším okolím Slunce. Většina vzdálenějších hvězd se nám slévá do pásu, kterému říkáme Mléčná dráha. To je naše Galaxie, soustava asi 150 miliard hvězd tak, jak se na ni díváme zvnitřku. V Galaxii však nejsou jen hvězdy. Je v ní také mnoho mezihvězného prachu a plynu. Z něj se také kdysi naše Slunce zrodilo. Máme dnes štěstí, že uprostřed žádného hustšího oblaku nejsme, takže máme relativně nerušený výhled do vzdálenějších končin vesmíru. Naše Galaxie je však jen jednou z mnoha. Patří sice mezi ty větší, ale z celkového pohledu je nepatrnou částíčkou v prostoru. Společně s těmi nejbližšími, jako je např. velká galaxie M 31 v Andromedě nebo M 33 v Trojúhelníku, tvoří tzv. Místní skupinu galaxií. Měřítko této soustavy je v řádu milionů světelných let. Dále bylo zjištěno, že obrovská nakupení galaxií v některých částech oblohy nejsou náhodná. Například v souhvězdí Panny leží jedno takové významné seskupení. Dnes víme, že gravitačně je k němu vázána i naše Místní skupina galaxií. Hovoříme o Kupě galaxií v Panně. Takovýchto kup galaxií je ve vesmíru celá řada, sdružují se do nadkup a kdybychom se snažili pořídit velkorozměrovou mapu vesmíru, zjistíme, že seskupování má jistý řád. Řetízky kup galaxií bychom našli podél jakýchkoli filamentů, které souvisí s prvotním uspořádáním vesmíru po Velkém třesku.

### 5.1. Hvězdy

Nejsou z hlediska hmotnosti tím nejpodstatnějším, co ve vesmíru najdeme, ale rozhodně můžeme říct, že tvoří 99 % všeho, co můžeme přístroji registrovat. Jednak jsou to hvězdy samotné a pak také hmota jimi ozářená. (Mikulášek, 2003)

### 5.1.1. Vznik a vývoj hvězd, exoplanety

Představu o vzniku hvězd měli astronomové ve 20. století určitě dobrou, ale snad teprve na konci století se jim do rukou dostaly kvalitní snímky, které vše ukázaly „naživo“. Vývoj hvězd a s ním i planetárních soustav studujeme na mnoha příkladech v různých fázích vývoje.

Zrod hvězd probíhá v rané fázi v hustých částech mezihvězdných molekulových mračen z prachu a plynu. V mlhovině se vytvoří malé globule, v nichž se nová hvězda rodí. To pozorujeme například na známých snímcích Orlí mlhoviny M 16. Rodící se hvězda se poté obklopí tlustým a posléze tenčím diskem hmoty. Později v něm, jak předpokládáme, vznikají planety. Typickým příkladem jsou snímky protoplanetárních disků v mlhovině M 42 v Orionu. Jakmile uvnitř hvězdy dojde vlivem vysokých teplot k započítí termonukleárních reakcí, je většina hmoty z okolí hvězdy odváta a zůstanou jenom větší tělesa. (<http://www.stsci.edu>)

Vývoj hvězd také dobře vystihuje tzv. Herzprung-Russelův diagram. Vznikající hvězdu bychom v něm sice nenašli, ale zato nám pěkně ukáže její další osud. Jakmile se ve hvězdě zapálí termonukleární reakce, přestane se dále smršťovat, protože proti tlaku gravitace z vnějšku působí tlak horkých částic snažících se uniknout z jádra. Hvězda je ve stavu zářivé rovnováhy. V takovém případě bychom ji na H-R diagramu našli na tzv. hlavní posloupnosti, kde je většina hvězd. Jak dlouho na něm pobude závisí hlavně na její hmotnosti. Velmi hmotné hvězdy umírají brzy, jejich život měříme v řádu milionů let, menší hvězdy jako je i naše Slunce žijí řádově miliardy let a trpasličí hvězdy (hnědý trpaslík) mají svoji existenci propočítánu i na stovky miliard let dopředu. Co se však děje s hvězdou, když jí v jádru dojde vodík, hlavní palivo termojaderné reakce? Proti gravitaci přestane působit tlak záření a hvězda má tendenci se opět hroutit. Toto smršťování je však ihned zastaveno změnou jaderných reakcí. Jako palivo slouží hélium (a u těžších hvězd pak později další prvky, dusík, kyslík, uhlík, ...). Hvězda však v této fázi musí zvětšit svůj rozměr. Z běžné hvězdy se stává červený obr. Když mu dojde veškeré palivo, dojde k definitivnímu hroucení. Vnitřní oblasti se smrští v bílého trpaslíka, vnější obálka je odhozena a vzniká tak útvar, který pozorujeme jako tzv. planetární mlhoviny. To je ovšem osud běžné hvězdy svojí hmotností nepřekračující 1,4 násobek hmotnosti Slunce (Chandrasekharova mez).

Těžší hvězdy (asi osmkrát těžší než Slunce) nedokáží v závěru života udržet tlak gravitace a jejich jádro se hroutí dále. Vznikají neutronové hvězdy nebo kolabují do podoby černé díry. Děje se tak při výbuchu supernovy typu II. K tomu, aby hvězda překročila Chandrasekharovu mez, nemusí nutně jít jen o hmotnou hvězdu. Druhou možností totiž je bílý trpaslík žijící v těsné dvojhvězdě. Ten neustálým přenosem hmoty z druhé složky na sebe zvětšuje svou hmotnost. Po překročení Chandrasekharovy meze dochází k výbuchu supernovy typu I.

Jestliže je představa o vzniku a vývoji hvězd správná, lze předpokládat existenci planet také u jiných hvězd. Také tyto exoplanety, jak se nejčastěji planety mimo Sluneční soustavu nazývají, byly od devadesátých let 20. století nalezeny. V současnosti je známo velké množství exoplanet. Většinou se ale jedná o obří

plynné planety (pokud nejde rovnou o hnědého trpaslíka), které často obíhají hvězdu blíže než Merkur. Jen ve výjimečných případech můžeme zatím hovořit o nadějně planetární soustavě, která svým složením může připomínat naši. Takovým příkladem jsou planetární soustavy u hvězd 47 UMa, 14 Her, 16 CygB či HD 210 277.

Jakým způsobem se vlastně planety u jiných hvězd hledají. Rozhodně je jasné, že to nebude přímou fotografií hvězdného okolí. Na to nestačí ani Hubbleův vesmírný dalekohled. Metoda hledání spočívá ve sledování vlastního pohybu hvězdy. Podíváme-li se na kladiváře shora, uvidíme, že před odhozením kladiva vykonává jeho tělo kývavý pohyb kolem společného těžiště soustavy člověk – kladivo. Podobně je tomu u hvězdy, akorát planeta není v poměru k hvězdě tak hmotná. Proto i výchylky ze společného těžiště jsou malé. Nicméně lze je měřit a to na základě Dopplerova jevu (na principu zvukovém víme, že tón na přibližujícím se vozidle slyšíme vyšší, než tentýž tón na vozidle se vzdalujícím). Zde se sleduje spektrum hvězdy a posun jeho čar jednou k modrému, posléze k červenému konci. Z tohoto pohybu jsme schopni určit pomocí základních fyzikálních výpočtů, jakou má neviditelná planeta oběžnou dobu, jakou hmotnost a přibližnou velikost.

V brzké budoucnosti budou k dispozici přístroje schopné detekovat tyto planety interferometricky tím způsobem, že odfiltrují světlo hvězdy a zobrazí planety okolo ní. V poněkud vzdálenější budoucnosti jsou potom očekávány přístroje, které budou schopny detekovat planety o velikosti Země a posléze zjišťovat složení případné atmosféry. Z pouhé přítomnosti kyslíku ve větším množství bychom jistě mohli usuzovat na případný život mimo naši Sluneční soustavu.

Co se týče myšlenky existence mimozemské inteligence, nelze se ve světle výše uvedených představ ubránit dojmu, že někde snad musí nějaká být. Hvězd je jenom v naší Galaxii mnoho a mnohé z nich mají určitě planety vhodné pro život podobný našemu. Bylo by to hrozné plýtvání místem, kdybychom byli ve vesmíru sami (Carl Sagan). (Kleczek, 2002; Příhoda, Holovská, 1996)

### 5.1.2. Hvězdné soustavy

Z principu tvorby hvězd je jasné, že jen málokdy existují hvězdy osamocené. To je asi v rozporu s tím, že zrovna Slunce samotné je. Ovšem to je právě spíš výjimkou.

Nejjednodušší hvězdnou soustavou jsou obecně vícenásobné hvězdy. Dvojhvězdy jsou pak nejčastější, protože gravitační vlivy více hvězd většinou od sebe rozdělí. Zajímavé jsou především dvojhvězdy, kdy jednu složku tvoří degenerovaná hvězda – bílý trpaslík. O nich je řeč výše u případu supernov typu I.

Z hlediska pozorovatele oblohy bude zřejmě nejzajímavější taková dvojhvězda, kdy každá složka je jinak barevná a ještě ke všemu má dostatečnou vzdálenost složek od sebe. V praxi jsou takovými oblíbenými dvojhvězdami např. známý Mizar a Alcor (vícenásobná soustava z ohbí oje Velkého vozu),  $\beta$  Cygni (Albireo),  $\alpha$  Herkula nebo  $\gamma$  Andromedy. Pozorovatel dělí dvojhvězdy na ty rozlišitelné (optické) a na ty jež vidět nemůže (spektrálně rozlišitelné). Optické dvojhvězdy lze ještě rozdělit na

fyzicky související (vázané gravitací) a na ty, které se pouze promítají poblíž stejného místa na obloze (zdánlivé).

Uvolní-li se více hvězd z jedné mlhoviny, ve které společně vznikly, mohou vytvořit otevřenou hvězdokupu nebo hvězdnou asociaci. Otevřené hvězdokupy bývají semknutější a jsou tvořeny větším počtem hvězd, asociace mohou být i hodně rozsáhlé (např. asociace některých hvězd Velkého vozu). Pro obě skupiny je každopádně typické, že se jedná o hvězdy mladé (řádu milionů až stovek milionů let) sdílející stejný směr letu prostorem.

Pravým opakem bývají nazývány kulové hvězdokupy. Domníváme se, že existují ve vesmíru od dob, kdy začaly vznikat hvězdy. Počet hvězd zde bývá desítky tisíc i více než milion. Zajímavý byl určitě objev bílých trpaslíků ve hvězdokupě M 4 Hubbleovým vesmírným dalekohledem.

Z hlediska pozorování kulových hvězdokup dodejme, že vynikají pozoruhodnou nehomogenitou rozložení na obloze. V důsledku toho nelze v zimě sledovat téměř žádné, zatímco v létě jich najdeme malými dalekohledy až několik desítek. Důvod je ovšem prostý. Kulové hvězdokupy se shlukují v galaktickém halu poblíž centra Galaxie. Protože střed Mléčné dráhy se na obloze promítá do souhvězdí Štřelce, které je nejlépe vidět v létě, je tomu tak i v případě kulových hvězdokup.

Nyní je jasné, že poslední možnou skupinou hvězd jsou galaxie. Dříve než byla poznána jejich pravá podstata, bývaly označovány jako mlhoviny. Dodnes se uchoval tento název pro galaxii M 31 v Andromedě jako Velká mlhovina v Andromedě. A právě na této „mlhovině“ E. P. Hubble fotograficky doložil, že se nejedná o mlhovinu, nýbrž o seskupení nesmírného množství hvězd, podobně jako u Mléčné dráhy. Jeho prací je také klasifikace galaxií na základní typy – eliptické, spirální (spirální s příčkou) a nepravidelné (svou práci ještě paradoxně nazval Říše mlhovin).

Nejhmotnější a tím i největší galaxie jsou eliptické. Typickými zástupci jsou galaxie v centru kupy v Panně (M 84, M 86). Mezi větší patří také galaxie spirální. Sem patří naše Galaxie i největší zástupci Místní skupiny galaxií M 31 a M 33. K nepravidelným řadíme například oba Magallenovy oblaky (průvodci naší Galaxie viditelní na jižní obloze). Dodatečně byla přidána třída S0 s výrazným středovým vydutím a chybějícími spirálními rameny (M 104, Sombrero v Panně). Nezařaditelné galaxie pak nazýváme Pekuliární (charakteristické deformací při setkání s jinou galaxií – interagující galaxie, srážka galaxií). Co do počtu je mezi nejjasnějšími galaxiemi 75 % spirálních, 20 % eliptických a 5 % nepravidelných. Jestliže však zahrneme všechny, tedy i trpasličí galaxie, vychází poměr takto: 30 % spirálních, 60 % eliptických a 10 % nepravidelných galaxií. (Kleczek, 2002)

Na snímcích velmi vzdáleného vesmíru (Hubbleovo hluboké pole – Hubble deep field) můžeme vidět ještě zárodky vznikajících galaxií, které ještě nemají pravidelný tvar. Vypadají tedy spíše jako chomáčky (protogalaxie). (<http://www.stsci.edu>)

Naše Galaxie (Mléčná dráha) je tedy obrovský systém složený asi ze 150 miliard hvězd. Většina viditelné hmoty je soustředěna v galaktickém disku, v jehož středu je výduť s podstatně vyšší hustotou než na okrajích. Rozměr Galaxie činí 100 tisíc světelných let a Slunce leží téměř v rovině disku ve vzdálenosti 30 tisíc světelných let

od centra. Nacházíme se v jednom ze spirálních ramen (Orionovo rameno) mírně stranou intenzivní tvorby hvězd. Podle Hubbleovy klasifikace bychom Galaxii označili jako typ Sb nebo Sc, ale také je možné hovořit o ní jako o typu SB, protože v centru je náznak malé příčky. Galaktický disk je obklopen galaktickým halem. Když Galaxie vznikala, měla tvar rotujícího elipsoidu, z něhož se postupně vytvořil disk. Zbytkem po této fázi vývoje je sférické halo, kulovitý oblak obsahující nejstarší hvězdy (kulové hvězdokupy, hvězdy typu RR Lyrae). Hvězdy galaktického hala jsou vesměs málo hmotné, protože ty hmotnější už dávno vymřely. Poslední složkou do které je celá Galaxie i s halem ponořena je galaktická koróna. V ní je mnoho nezářivé hmoty, což poznáme z dynamiky rotace Galaxie. Co tvoří tuto skrytou hmotu dosud nevíme a je to i úkol pro nový vesmírný teleskop. Může jít o hmotu baryonovou (hnědí trpaslíci, vychladlí bílí trpaslíci, slabí červení trpaslíci, ...), ale i o jiné projevy související s gravitací. (Kleczek, 2002)

## 5.2. Galaxie a černé díry

Jedním z faktů, který se podařilo potvrdit až koncem dvacátého století, je přítomnost supermasivních černých děr v centru aktivních galaxií.

Černá díra je obecně zažitý pojem pro gravitací zhroucený objekt, kde je prostor tak zakřiven, že jej neopustí ani světlo. Odtud zřejmě název černá. Ale proč zrovna díra? Já osobně jsem si opravdu dříve nedokázal tento útvar nijak představit, maximálně právě jako díru v prostoru. Ona představa by mohla mít kořeny v obecné teorii relativity, jak ji v roce 1915 předložil Albert Einstein. Podle ní se každý objekt v prostoru chová tak, že jej svou gravitací prohýbá. Pokud bychom měli vesmír dvojrozměrný, vypadající jako gumová podložka, pak každá kulička na ni položená, by vytvořila takové prohnutí svou hmotností. Něco podobného se děje v našem vesmíru trojrozměrném. Jestliže černá díra je objekt o největší hmotnosti, vytvořila by tedy přímo propast, vedle obyčejných prohlubní, způsobených běžnými hvězdami. A tak se zřejmě vžil i pojem díra.

Ve skutečnosti si ale černou díru můžeme představit tak, že pod určitou mezí (Schwarzschildův poloměr) od středu tohoto objektu se o něm již nic nemůžeme dovědět. Úniková rychlost je větší než rychlost světla. Je také známo, jak může taková černá díra vzniknout. Velmi hmotné hvězdy, tedy alespoň osmkrát hmotnější než Slunce, končí svoji existenci velmi dramatickým způsobem. Vybuchnou jako supernovy a protože expanze není schopna zastavit gravitační hroucení jádra, zhroutlí se samy do sebe, do černé díry. Jestliže z hlediska elektromagnetického záření jsou černé díry prakticky nespojeny s naším vesmírem, není to tak docela pravda, pokud jde o ostatní parametry, protože můžeme měřit například jejich hmotnost, hybnost, nebo elektrický náboj. Co můžeme ale pozorovat dokonale, především za pomoci tak výborného dalekohledu, jakým je HST, to jsou projevy typické pro okolí černé díry. Sem patří nejen pozorování tlustého akrečního disku kolem samotné černé díry, což je materiál, který je do ní gravitačně postupně strháván, ale například také tzv. jety, tedy výtrysky z polárních oblastí. A protože tyto projevy se podařilo dobře detekovat právě u center mnoha (aktivních) galaxií, dá se dnes říci, že minimálně v centru



velkých galaxií s aktivním jádrem se černá díra nachází. Ale na rozdíl od černé díry „hvězdného“ typu se zde jedná o černé díry „supermasivní“, jejichž hmotnosti až mnohamiliónkrát převyšují hmotnost Slunce.

Na závěr pak můžeme dodat, že jistá je také existence takové černé díry v centru naší Galaxie (Mléčné dráhy). Ale ta je nesrovnatelně menší, než obrovské černé díry velkých eliptických galaxií nebo černá díra v centru blízké velké spirální galaxie v Andromedě. (Filkin, 1998, Kleczek, 2002)

### 5.3. Kvasary a záblesky gama záření

Ačkoli samotné galaxie jsou velice svítivé útvary, ve srovnání s hvězdami, neboť bývají složeny často z miliard i stovek miliard hvězd, bylo pro astronomy přichystáno ještě další překvapení. Po roce 1960 se na scéně objevily záhadné, velice svítivé a hvězdám podobné útvary, které začaly být nazývány dle svého vzhledu jako „kvasistelární objekty“ a zkráceně pak kvasary. Časem astronomové dokázali, že tyto extrémně zářivé útvary jsou velmi vzdálené galaxie. Důvodem pro toto tvrzení byl jejich velký červený posuv (jev ve spektru kvasaru – emisní čáry posunuté k červenému konci spektra v důsledku velké vzdálenosti objektu). Mají skutečně obrovský zářivý výkon v celém spektru, kolem  $10^{40}$  W (Slunce má zářivý výkon pouze  $3,85 \cdot 10^{26}$  W a celá Galaxie asi řádu  $10^{37}$  W).

Když ale po roce 1970 začaly být vypouštěny první sondy, které také mohly detekovat gama záření (z důvodů vojenských – detekce výbuchů atomových bomb), objevily paradoxně mnoho takových gama záblesků. Ale jejich původ byl ve vesmíru. Teprve v letech devadesátých se za rozsáhlé spolupráce družic na detekci gama záření (CGRO, BeppoSAX), HST, velkých pozemských dalekohledů i amatérských astronomů, podařilo postupně pozorovat první vizuální protějšky těchto záblesků i v různých vlnových délkách. Hlavní úlohu zde sehrála Compton gama-ray observatory a družice BeppoSAX. V době zaznamenání záblesku byly schopny brzy identifikovat dostatečně přesně, kde k tomuto záblesku gama došlo. A pak nastoupila celá plejáda dalších dalekohledů. Do několika hodin to bývaly týmy, které se o záblesku dověděly z internetu, i velké teleskopy, jež pořizovaly spektrum. V průběhu několika dnů či týdnů se podařilo natočit také Hubbleův kosmický dalekohled. Díky tomuto pečlivému úsilí máme dnes k dispozici záznamy několika optických protějšků gama záblesků, včetně jejich spekter, z nichž můžeme určit vzdálenost a vypočítat intenzitu záblesku. A tak zatímco dříve se ještě spekulovalo, jak daleko od nás vlastně záblesky vznikají, dnes se již hovoří spíše jen o objektech v kosmologických vzdálenostech (v ojedinělých případech i v naší Galaxii).

Ale zde nám vzniká další problém. Pokud by tomu tak bylo, jedná se o nesmírně výkonné zdroje, které za jedinou sekundu vyzáří mnoho energie – až  $10^{47}$  J, což odpovídá zářivému výkonu  $10^{43}$  W a to by bylo o tři řády více, než u kvasarů. Přestože vysvětlení zdroje takového množství energie je téměř mimo zákonitosti fyziky, pravděpodobný návrh už známe. U záblesků záření gama je možno pozorovat velmi strmý pokles jasů a tak se předpokládá, že energie je do prostoru vyzařována

jen v úzkém svazku, podobně jako u pulsarů (neutronových hvězd vyzařujících rentgenové záření asi jako tomu je u světél majáků). Potom také vychází energie záblesků nižší, „jen“ kolem  $10^{41}$  W, což je asi o řád více než u kvasarů. Každopádně se jedná o velmi zajímavé projevy aktivity ve velmi ranném vesmíru. Nesmíme totiž zapomínat, že čím je od nás objekt ve vesmíru dále, tím je vesmír mladší. (Grygar, 1998-2001)

V případě, že byl zaznamenán gama záblesk v naší Galaxii, jedná se o výbuch zcela nového typu hvězd – hypernov. Poprvé to bylo sledováno v galaxii ESO 184G82 jako supernova SN1998bw doprovázená gama zábleskem GRB 980425. Dalším zdrojem gama záření jsou magnetary, hvězdy s extrémně vysokým magnetickým polem (tisíckrát větším než mají pulsary a největším známým v přírodě vůbec). Tyto záblesky se liší tím, že gama záření z nich jdoucí je měkké (větší vlnová délka).

Teorie vysvětlující alespoň některé dlouhotrvající gama záblesky uvažují o dalších exotických objektech. Mohly by jimi být supranovy – po výbuchu extrémně hmotné hvězdy jako supernova by zbyla neutronová hvězda asi třikrát těžší než Slunce, která by dále zkolabovala do černé díry za vystřelení materiálu v podobě úzkých jetů. Ten po kolizi s hmotou vzniklou po výbuchu supernovy způsobí vyzáření energie ve formě rentgenového a gama záření.

Jiným objektem by mohl být kolapsar. Zde by docházelo ke zhroucení velmi hmotných hvězd (tzv. Wolf-Rayetových hvězd) přímo na černou díru. To vše by se ovšem dělo uvnitř hvězdy. Poté by z jádra byly vystřeleny úzké kužele hmoty, které po interakci s atmosférou hvězdy vyzáří gama záření.

Myšlenka kolapsarů by se dala spojit s úvahou o existenci superhmotných hvězd v ranném vesmíru. Pokud budeme předpokládat, že první hvězdy byly opravdu velmi hmotné (a k tomu byly po vzniku vesmíru vhodné podmínky), pak si lze představit, že by při zániku těchto hvězd mohlo docházet ke gama zábleskům. V tom případě bychom mohli říci, že jestliže tyto extrémně hmotné první hvězdy zatím nemůžeme opticky pozorovat, vidíme alespoň jejich zánik za doprovodu gama záření a dohasínajícího optického či rentgenového protějšku. (<http://www.ian.cz>, 481. číslo)

## 5.4. Struktura vesmíru

O podobě vesmíru se zmiňuji v úvodu 5. kapitoly o Vzdáleném vesmíru. Pojďme se krátce podívat, jak vypadá pohled na vesmír ve velkoprostorovém měřítku. Jednotlivé kupy a nadkupy totiž vytváří nesmírně velikou strukturu podobnou pavučině, nebo houbě. Jsou zde jakási vlákna se zhuštěninami plnými galaxií, ale také prázdné oblasti, kde nejsou téměř žádné. Co je však velmi zajímavé – tato struktura není vůbec náhodná, pokud se podržíme teorie velkého třesku. Již mapa oblohy vytvořená z údajů družice COBE (jež zkoumala reliktní záření – mikrovlnné záření vyplňující celý vesmír) ukazuje na to, že se vyskytovaly jisté fluktuace a právě z nich se začala tvořit pozdější struktura dnešního vesmíru. Ještě lépe to dokumentují poslední snímky projektu WMAP. Tuto strukturu, která má typicky filamentární



charakter potvrzují i nejnovější pozorování observatoře ESO, která se jedním takovým filamentem v kosmologické vzdálenosti zabývala. (Kleczek, 2002)

## 5.5. Teorie o vzniku vesmíru a jeho stáří

20. století přineslo teoriím o vzniku vesmíru mnoho nového. Díky Einsteinově teorii relativity, kvantové fyzice a velkému rozvoji přístrojové techniky vznikla stále propracovanější teorie, která je dnes všeobecně známa jako teorie Velkého třesku. (Filkin, 1999)

Jediný problém, na který dnešní fyzika neumí odpovědět jsou děje a vzhled vesmíru v době jeho vzniku až do  $10^{-43}$  sekundy. Je to malý časový úsek, ale žádná rozumná fyzikální teorie pro něj dosud neexistuje. Jediné o čem se pak hovoří je jakýsi superhustý a horký bod, singularita, z níž se náhle začal rozpínat prostor i čas. Nejprve pak existovalo jen záření, neboť vesmír byl nesmírně horký pro vznik částic. Ty se vytvářely až později, když vesmír dostatečně vychladl. Tak tu bylo nejprve kvark-gluonové plazma, pak hadrony a leptony, později první atomy, především vodíku a zčásti helia, které začaly po 300 – 600 tisíc let převažovat a vesmír se stal průhledný. Dle výše uvedeného je pozůstatkem horkého záření právě tzv. záření reliktní, jehož teplota je dnes už jen necelé 3 kelviny. Hmota se pak zřejmě začala soustřeďovat podle výše zmíněných velkoprostorových struktur vesmíru.

Stáří vesmíru je značně velký problém současné astronomie. Je to dáno tím, že ani pořádně nevíme, jak je vesmír velký. Měření vzdáleností ve vesmíru se děje vždy metodou nepřímou, podle určitých „standardních svíček“, ale stále je chyba měření příliš velká. Základním způsobem je metoda trigonometrická, na základě roční paralaxy. Takto postupovala i sonda HIPPARCOS. Každého půl roku změřila pozici hvězdy vůči vzdálenému pozadí a na základě vrcholového úhlu vzniklého trojúhelníku (Slunce-Země-hvězda), roční paralaxy, bylo možné určit velmi přesně vzdálenost hvězdy. Takto se změřila také vzdálenost proměnných hvězd, známých jako Cefeidy. To jsou první standardní svíčky pro nepřímé měření vzdáleností. Základním zástupcem je hvězda delta ze souhvězdí Cephea. U těchto proměnných hvězd je známo, že určité periodě proměnnosti jasu odpovídá velmi přesně absolutní magnituda hvězdy. A odtud už snadno vypočítáme paralaxu a z ní vzdálenost. Takto byla tedy proměřena periodičita Cepheid v jiných galaxiích a z nich určena vzdálenost galaxií (pozorování HST). Druhou standardní svíčkou, používanou ve vzdálenostech, kde už Cepheidy nevidíme, jsou výbuchy supernov typu I. Tyto výbuchy lze pozorovat v soustavě dvou hvězd, z nichž jedna je bílý trpaslík. Na něj se postupně nabaluje hmota z hvězdy druhé, až dojde k výbuchu, jehož intenzita je vždy stálá a můžeme tak dobře určit vzdálenost této supernovy. Tyto údaje dobře odpovídají vzdálenostem určeným podle Cepheid. (Příhoda, Holovská, 1996)

K čemu jsou však důležité tyto vzdálenosti ve vesmíru? Ukazují na to, jak rychle se vesmír rozpíná. Již ve dvacátých letech totiž Edwin P. Hubble zjistil, že galaxie se od nás vzdalují a to tím větší rychlostí, čím jsou od nás dále. Tuto jednoduchou formuli uveřejnil v roce 1929.

$$v = H \cdot r$$

Vystupuje zde tzv. Hubbleova konstanta  $H$ , rychlost vzdalování  $v$  (v  $\text{km.s}^{-1}$ ) a vzdálenost  $r$  (v Mpc – megaparsec je milion parseků, tedy asi 3,26 milionů světelných roků, asi  $3 \cdot 10^{16}$  m). A právě hodnota Hubbleovy konstanty je značně neurčitá a přitom důležitá pro znalost stáří vesmíru. Její převrácená hodnota přibližně udává stáří vesmíru. (Zjednodušeně vzato, jako když počítáme čas u rovnoměrného přímočarého pohybu).

$$t = \frac{s}{v} \quad \text{zde} \quad \frac{r}{v} = \frac{1}{H}$$

Dříve se dohodou uváděla hodnota Hubbleovy konstanty  $H = 50 \text{ km.s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$  a stáří vesmíru pak vycházelo asi 18 miliard let. Podle nových měření HST v roce 1994 vycházela ale její hodnota vyšší a vesmír mladší než samotné hvězdy v něm (v kulových hvězdokupách jsou stálice staré až 13 miliard let, jak je známo z vývoje hvězd). Tento zdánlivý paradox stáří vesmíru byl vyřešen až na základě posledních měření sondy HIPPARCOS. Díky nim byly přesněji stanoveny vzdálenosti hvězd (tedy i těch, které používáme jako tzv. standardní svíčky k měření vzdáleností). Podle záběrů HST pak byla stanovena vzdálenost galaxií v Panně a na základě toho byla stanovena hodnota Hubbleovy konstanty na asi  $70 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$ . Podle tohoto měření je tedy vesmír starý asi 14 miliard let a žádné hvězdy ve vesmíru tak nejsou starší než vesmír sám. (Vanýsek, 1980; Mikulášek, 2003)

Na závěr se vraťme k problému skryté hmoty a jejího vlivu na vývoj vesmíru. Bude-li hustota vesmíru malá, bude se vesmír rozpínat navždy, jestliže ale převáží přitažlivá gravitace, pak se vesmír po čase opět zhroutí.

Podle dosavadních výzkumů tvoří známá svítící hmota asi 3,5 % veškeré hustoty ve vesmíru. Dalších 0,5 % tvoří záření vysokoenergetických fotonů. Asi 0,001 % tvoří fotony reliktního záření. Kolem 17 % zabírá chladná temná hmota a 9 % skrytá temná hmota. Skrytá hmota se projevuje svojí přitažlivou gravitací. Zbývajících asi 70 % hustoty vesmíru vyplňuje cosi, co bychom mohli srovnat s Einsteinovou kosmologickou konstantou, energií vakua, nebo hmotou zvanou kvintesence. Tato hmota působí tzv. odpudivou gravitací a má tendenci rozpínat vesmír stále větším tempem. Jestliže by se jednalo o Einsteinovu kosmologickou konstantu, rostlo by tempo rozpínání exponenciálně, půjde-li o kvintesenci, pak bude tempo pomalejší. V poslední době se zdá, že zatímco v prvních třech miliardách let od vzniku vesmíru převládaly přitažlivé síly (rozpínání vesmíru se zpomalovalo), nyní převažuje gravitace odpudivá a vesmír se rozpíná stále rychleji. (Mikulášek, 2003)

## 5.6. Vzdálený vesmír – doplněk

**Tabulka č. 5,** Supernovy typu I a II (Kleczek, 2002)

	SN I	SN II
<b>M<sub>max</sub></b>	-19 mag	-17 mag
<b>výskyt</b>	ve všech typech galaxií (včetně eliptických)	jen ve spirálních galaxiích (spirální ramena)
<b>světelné křivky</b>	navzájem podobné	rozmanité
<b>průběh</b>	rychlý pokles prvý měsíc, potom 0,014 mag za den	často: prudký pokles stabilizace, pokles
<b>presupernova</b>	bílý trpaslík v těsné dvojhvězdě s akrecí	veleobr s hmotností větší než 8 hm. Slunce
<b>rychlost exploze</b>	11 000 km.s <sup>-1</sup>	5 000 km.s <sup>-1</sup>
<b>spektrum</b>	bez vodíku (Si, Ca II, Mg II, O I)	vodík (Ca II, Na I, Fe II, Ti II, SC II)

**Tabulka č. 6,** Vybrané exoplanety (Kleczek, 2002)

hvězda	hmotnost planety (v hmotnosti Saturnu)	vzálenost planety od hvězdy (AU)
51 Peg	0,44	0,05
16 Cyg B	1,70	1,60
47 UMa	2,30	2,11
14 Her	3,30	2,50

### Hvězdy

Blízké okolí Slunce – nejbližší hvězda je proxima Centauri vzdálená 4,26 sv. roku. Náleží do systému alfa Centauri a jedná se o červeného trpaslíka. Viditelná je na jižní obloze jako hvězda 11 mag. Slunce leží mírně stranou od velkých molekulárních mračen Orionova ramena naší Galaxie.

Hvězdukupy – nejjasnější kulová hvězdokupa je na jižní obloze (Omega Centauri, 3,5 mag), na severním nebi M 13 v Herkulu 5,5 mag. Nejznámější otevřenou hvězdokupou jsou Plejády v Býku známé též jako Kuřátka. Nedaleko jsou ještě Hyády a v Perseu otevřené hvězdukupy chí a há. Kulové hvězdukupy se nalézají většinou mimo galaktický disk směrem k centru Galaxie, zatímco otevřené hvězdukupy naopak většinou nalezneme právě poblíž Mléčné dráhy. (Karkoschka, 1988)

Zrod a vývoj hvězd – nejnázornějšími záběry zrodu hvězd v mlhovinách jsou snímky globulí v mlhovinách M 16 (Orlí), M 20 (Trifid). Snímek regionu tvorby hvězd S 106

je příkladem mlhoviny se spoustou hnědých trpaslíků. Protoplanetární disky byly fotografovány např. v M 42 – Velké mlhovině v Orionu.

Proměnné hvězdy – na snímcích v archívu je hvězda V838 Mon, jejíž náhlou změnu jasů zaznamenal mezi prvními L. Brát z Pece pod Sněžkou roku 2002. Tuto velmi zajímavou hvězdu pravidelně sleduje HST.

Zbytek po výbuchu supernovy Cas A je po Tychonově supernově 1572. Krabí mlhovina (M 1) po supernově 1054. Řasová mlhovina je po výbuchu starém asi 50 tisíc let. Nejjasnější zaznamenaná supernova je z roku 1006.

V roce 1987 měli astronomové nejlepší možnost studovat blízkou supernovu. Vybuchla ve Velkém Magellanově mračnu, průvodci naší Galaxie.

Betelgeuse – červený veleobr v levém horním rameni souhvězdí Orionu. Hvězda je tak velká, že ji HST zobrazil jako disk (viz. též video Neklidná hvězda)

Éta Carinae – možný kandidát na supernovu. Jedna z nehmotnějších známých hvězd, neustále obklopená plynem, v minulosti jedna z nejjasnějších hvězd oblohy, dnes asi 6,2 mag. (Kleczek, 2002)

## **Galaxie**

Důkazem existence supermasivních černých děr v centrech galaxií jsou jejich projevy v podobě výtrysku hmoty z okolí pólů. Příklad: Centaurus A, obří eliptická galaxie, kvasar 3C 296.

Příklady interakce galaxií jsou snímky UGC 10214, M 82, NGC 4676, NGC 1275

Galaxie M 104 Sombbrero je nádherným příkladem přechodného typu mezi galaxií eliptickou a spirální, tzv. typ S0.

Na snímku HST najdete také příklad trpasličí galaxie doprovázející naši Galaxii (NGC 1705).

Kupy galaxií mají tak velkou hmotnost, že se světlo kolem nich ohne jako v nějaké obří čočce. Potom můžeme vidět za nimi galaxie několikrát vzdálenější než kupa samotná. Viz. Abel 2218.

## **Vznik vesmíru**

Pátráním po vznikajících mladých galaxiích byl pověřen HST. Nejznámějšími snímky jsou jeho „hluboká pole“ (hubble deep field) nebo Young Galaxy Survey. Podobně mladé objekty nalezneme i na posledním záběru kamery ACS v oblasti galaktického hala M 31.

## 6. Slovníček

(podle <http://projekty.astro.cz/adict/>, 2003, Kleczek, 2002)

**afélium** – nejvzdálenější bod od Slunce na dráze tělesa ve Sluneční soustavě.

**asteroid** – též **planetka**. Objekt řádově 0,01 – 1000 km. Pro svůj hvězdný vzhled na obloze jsou označovány jako asteroidy malé objekty nacházející se především mezi Marsem a Jupiterem a za dráhou Neptunu.

**astronomická jednotka** – **AU** (astronomical unit) - jednotka délky používaná v astronomii zejména ve Sluneční soustavě. Její hodnota přijatá IAU v r. 1976 je  $1 \text{ AU} = 149\,597\,870 \text{ km}$  a je určena definicí jako délka poloměru nerušené kruhové oběžné dráhy tělesa se zanedbatelnou hmotností, které se pohybuje okolo Slunce úhlovou rychlostí  $0,017\,202\,098\,950$  radiánu za den. S velkou přesností odpovídá střední vzdálenosti Země-Slunce, v praxi se často používá hodnota  $149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$ .

**bílý trpaslík** – Jedna z možných závěrečných fází vývoje hvězd (například i našeho Slunce). Hvězda, ve které degenerovaný elektronový plyn vyvíjí gradient tlaku (způsobený Pauliho vylučovacím principem), který odolává gravitaci. Poloměr je  $1\,000 \text{ km}$  až  $30\,000 \text{ km}$ , hustota až  $10^3 \text{ kg/cm}^3$ , maximální hmotnost  $1,44 M_{\text{Slunce}}$ . Hmotnější bílí trpaslíci jsou nestabilní, tuto tzv. Chandrasekharovu mez odvodil Subrahmanyan Chandrasekhar v roce 1930.

Objev prvního bílého trpaslíka: Již v roce 1834 Fridrich Bessel předpověděl průvodce Síría A z newtonovské teorie na základě vlnovkovité trajektorie hvězdy Síríus. Tento průvodce (Síríus B) byl objeven v optické dílně bratří Clarků roku 1862 (Alvan Clark - test objektivu průměru  $45 \text{ cm}$ ). Síríus B je prvním známým bílým trpaslíkem. Byla na něm demonstrována správnost newtonovské teorie (vlnovkovitá trajektorie Síría A) i potvrzena Obecná teorie relativity (červený posuv). Síríus B je enormně malý a hustý s průměrem  $11\,736 \text{ km}$ ,  $\rho = 3 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^3$ . Povrchová teplota je  $24\,800 \text{ K}$ , vzdálenost  $8,6 \text{ sv. roku}$  a hmotnost  $1,03 M_{\text{Slunce}}$ .

**černá díra** – neudrží-li gravitaci gradient tlaku látky (normální hvězda), gradient tlaku degenerovaného elektronového plynu (bílý trpaslík) ani gradient tlaku neutronů (neutronová hvězda), nastává nezadržitelný kolaps hvězdy do černé díry. Pojmenování černá díra pochází od John. A. Wheelera a je až z roku 1967. Samotnou myšlenku existence tělesa, ze kterého by nemělo unikat světlo, poprvé zformuloval John Michell již v roce 1783 a hodnotu Schwarzschildova poloměru z newtonovské mechaniky odvodil Laplace v roce 1798. Zachovají si hmotnost, moment hybnosti a elektromagnetický náboj ("no hair" teorém). V okolí je silně deformovaná geometrie prostoročasu. Z oblasti pod tzv. Schwarzschildovým horizontem  $R_s = 2GM / c^2$  nemůže uniknout ani světlo.

**červený trpaslík** – hvězda spektrální třídy K nebo M ležící na hlavní posloupnosti H-R diagramu, který vysvětluje zákonitosti vývoje hvězd. Má velmi malý poloměr, nízkou svítivost. Proto je barva jeho povrchu červená.

**ekliptika** – průsečnice, v níž rovina dráhy Země kolem Slunce protíná nebeskou světovou sféru. S nebeským rovníkem svírá rovina ekliptikální úhel  $23^{\circ} 26' 21,448''$  (epocha 2000). Původ slova pochází z latinského *eclipsis*, což znamená zatmění (na ekliptice a v její nejtěsnější blízkosti totiž nastávají zatmění Slunce a Měsíce).

**Galaxie** – též. **Mléčná dráha**. Spirální galaxie, ve které se nalézá naše Slunce. Její průměr je zhruba 30 kpc (100 000 sv. let), hmotnost  $4 \cdot 10^{41}$  kg. Stáří Galaxie se odhaduje na 10 miliard let.

**hvězdná velikost** – též **magnituda**. Fotometrická jednotka udávající jasnost objektu na obloze. Již za dob starověku byly hvězdy rozděleny na 1. až 6. hvězdnou velikost, přičemž poměr jasu hvězd 1. a 6. hvězdné velikosti je přesně stonásobný.

**laser** – kvantový generátor a zesilovač monochromatického záření. Silný zdroj tenkého paprsku světla, používaný např. u CD-ROM, ukazovátek, v oční optice...

**librační body** – body v soustavě dvou těles pohybujících se kolem společného hmotného středu, ve kterých jsou gravitační účinky obou těles stejně velké.

**magnituda** – fotometrická veličina udávající jas objektu na obloze. Rozlišuje se magnituda zdánlivá - relativní (jak se jeví objekt při pohledu ze Země) a magnituda absolutní (pohled z konstantní vzdálenosti 10 pc). Vztah mezi absolutní ( $M$ ) a relativní ( $m$ ) magnitudou vyjadřuje Pogsonova rovnice,  $d$  je skutečná vzdálenost objektu (v pc).  $M = m + 5 - 5 \log d$ .

**meteor** – jev, který vzniká poté, co do zemské atmosféry vnikne úlomek meziplanetární látky vysokou (nadzvukovou) rychlostí. Třením o vzduch se brzdí, zahřívá a excituje a ionizuje okolní vzduch. Světelný jev, jenž vzniká deexcitací a rekombinací nabuzených či ionizovaných atomů vzduchu a materiálu tělísky, se odehrává většinou ve výškách 110 až 90 km nad povrchem Země. Většina tělísek se při průletu atmosférou vypaří a rozpráší, jenom zvlášť velká s nízkou geocentrickou rychlostí se neodpaří úplně a jejich zbytky pak dopadají na povrch Země jako meteority.

**meteorit** – zbytek meteoroidu, který se zcela nerozpadl v atmosféře a dopadl na povrch Země. Denně dopadá na Zemi zhruba 10 kg meteorického materiálu.

Meteority dělíme na kamenné (aerolity), železné (siderity) a železnato-kamenné (mezosiderity). Na Zemi dopadá více než 90 % kamenných meteoritů, třebaže ve sbírkách jsou uloženy zejména železné meteority (více přežijí let atmosférou, na zemském povrchu jsou trvanlivější a pro svou tmavou barvu i nápadnější). Zvlášť velké meteority jsou schopny vyhloubit na povrchu i rozsáhlé meteorické krátery (např. Barringův kráter v Arizoně, 1,2 km v průměru). Téměř na každém tělese Sluneční soustavy nacházíme stopy po dopadech meteoritů, tzv. dopadové krátery.

**meteoroid** – meteorická částice, která dosud nevstoupila do zemské atmosféry nebo se nesrazila s jiným tělesem Sluneční soustavy. Meteoroidy jsou součástí meziplanetární látky spolu s mikrometeority, planetkami, kometami a meziplanetárním plynem.

**Mléčná dráha** – též **Galaxie**. Světlý pás různé tloušťky, který prakticky přetíná celou oblohu. Jedná se o pohled na soustavu naší Galaxie zevnitř. Slunce je jednou z hvězd Mléčné dráhy.

**parsek** – základní jednotka vzdálenosti v astronomii. Je to vzdálenost, ze které je vidět střední vzdálenost Země-Slunce (tj. 1 AU) pod úhlem 1".  $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ sv. roku} = 206265 \text{ AU} = 3,0856 \cdot 10^{13} \text{ km}$ .

**perihélium** – nejbližší bod ke Slunci na dráze tělesa ve Sluneční soustavě.

**planetka** – též **asteroid**. Těleso o rozměrech řádově 0,001 až 1000 km, obíhající kolem Slunce převážně mezi drahami Marsu a Jupiteru a za dráhou Neptunu. První planetka byla objevena roku 1801 (Ceres). Celkový počet těchto těles přesahuje stovky tisíc.

**pulsar** – rotující neutronová hvězda s odlišným směrem magnetické a rotační osy. Majákovým efektem vytváří iluzi záblesků. Často vznikají jako pozůstatky po explozích supernov. První pulsar objeven v roce 1967 Jocelyne Bellovou v Cambridge (asistentka A. Hewishe, který dostal Nobelovu cenu za objev pulsarů). Zpočátku označování LGM (Little Green Men). Typická perioda kolem jedné sekundy, známy i milisekundové pulsary. Nejrychlejší pulsar PSR 1937+21 má periodu  $P = 1,56 \text{ ms}$ . Podvojný pulsar PSR 1913+16 posloužil k nepřímému měření gravitačních vln pomocí úbytku energie ze systému a následného zkracování periody. Některé pulsary mají mimořádně silné magnetické pole. U PSR 1259-63 bylo naměřeno  $B \sim 33 \cdot 10^6 \text{ T}$  a u PSR Gemingy 40  $\cdot 10^6 \text{ T}$ .

**radiant** – bod na obloze, ze kterého se perspektivně rozbíhají zdánlivé dráhy částic meteorického roje. Podle polohy radiantu na obloze získávají meteorické roje svá jména.



**scintilace** – rychlé změny refrakce (ohyb světla v atmosféře) způsobené turbulencí v zemské atmosféře, které se projevují kolísáním jasu i polohy hvězd. U planet je známo, že jejich svit je scintilací mnohem méně ovlivněn, neboť fotony k nám neputují z bodového zdroje, jako u hvězd, ale z kotoučku. Proto se planety většinou jeví jako jasné, klidně zářící hvězdy.

**sluneční cyklus** – periodická změna sluneční aktivity s trváním kolem 11 let.

**sluneční skvrny** – oblast fotosféry Slunce se sníženou teplotou vůči svému okolí, sníženým zářením, tlakem plynu a silnou koncentrací magnetického pole Slunce. Na povrchu se jeví jako tmavá skvrnka obklopená světlejší oblastí (umbra a penumbra).

**sluneční vítr** – proud nabitých částic, odtékajících radiálně ze sluneční koróny a odnášejících tak látku (a její moment hybnosti) ze Slunce. Typické hodnoty slunečního větru: rychlost v okolí Země: 320 km/s, protonová teplota  $4 \cdot 10^4$  K, elektronová teplota 1 až  $1,5 \cdot 10^5$  K, indukce magnetického pole  $5 \cdot 10^{-9}$  T. Ročně tímto ztratí Slunce  $10^{-13}$  své hmotnosti.

**souhvězdí** – Více či méně výrazná skupina hvězd, které si lidé pospojovali do různých obrazců představující osoby, zvířata či věci. Více než polovina souhvězdí je převzata ze starověkých civilizací, jména především z antického světa (ale Řekové souhvězdí přebírali od starších civilizací). Řada jmen se váže k řecké mytologii. S postupem evropské civilizace na jižní polokouli byla především v 17. a 18. století zaváděna souhvězdí nová (především francouzský astronom Abbé Nicolas Luis de La Caille, německý astronom Johannes Bayer a Johannes Hevelius). Konečný stav pak byl ve 20. století stanoven Mezinárodní astronomickou unií. Souhvězdím se dnes rozumí i přesně definovaná oblast, ve kterém se nachází výrazná skupina hvězd, ale i další hvězdy a objekty, pouhýma očima neviditelné. Souhvězdí nejsou fyzickým objektem, hvězdy v souhvězdích spolu většinou nemají žádný fyzický vztah - spojuje je jen poloha na obloze. Obrazce souhvězdí se kvůli vlastním pohybům hvězd pozvolna mění, ale změny bychom pouhýma očima zaregistrovali v řádu desetitisíců roků. I starověké civilizace viděly souhvězdí prakticky stejně jako my.

**světelný rok** – vzdálenost, kterou projde světlo ve vakuu za tropický rok (365,2422 dní). Je to vedlejší jednotka v soustavě SI a značí se sv.r., častěji ly (light year).  $1 \text{ ly} = 9,4605 \cdot 10^{15} \text{ m}$ .

**Velký třesk** – též anglicky **Big Bang**. Kosmologická hypotéza vzniku vesmíru, při níž došlo k mohutné expanzi z počátečního singulárního stavu a začal se rozpínat prostor i čas. Rozpínání vesmíru ještě v současnosti pokračuje. Pokud by nebylo ve vesmíru dostatek hmoty, která by tuto expanzi zastavila, bude se rozpínat neustále.

## 7. Použitá literatura

- Filkin D., 1998: Vesmír Stephena Hawkinga. Motýl, Bratislava
- Grygar J., Pokorný Z., Dušek J., 2000: Fotografický atlas Náš vesmír. Aventinum, Praha
- Grygar J., 1998-2001: Žeň astronomických objevů, archiv IAN, <http://www.ian.cz>
- Heuseler H., Jaumann R., Neukum G., 1999: Mars, Mladá fronta, Praha
- Holub K., 1909: Zeměpis astronomický, nakladatelství I. L. Kober, Praha
- Karkoschka E., 1995: Astronomický atlas hvězdné oblohy, Blesk, Ostrava
- Kleczek J., 2002: Velká encyklopedie vesmíru. Academia, Praha
- Klepešta J., 1946: Fotografie hvězdné oblohy, Prométheus, Praha
- Krisciunas K., Yenne B., 1995: Atlas vesmíru. Columbus, Praha
- Newcomb S., 1909: Astronomie pro každého, Ottovo nakladatelství, Praha
- Novák J., 1999: Digitální fotografie a video, Academia, Praha
- Příhoda P., Holovská H., 1996: Průvodce astronomií pro posluchače 1. ročníku astronomického kursu a pro vážnější zájemce o astronomii. Hvězdárna a Planetárium hl. města Prahy, Praha
- Toufar, P., 1996: Smrt číhá mezi hvězdami, CESTY, Praha
- Vanýsek V., 1980: Základy astronomie a astrofyziky. Academia, Praha

### Časopisy:

Astropis, číslo 1/2003, str. 16-17, Společnost Astropis, 2003

### Přednáška:

RNDr. Zdeněk Mikulášek, Hvězdné derniéry, 14. 8. 2002

### Internetové zdroje (aktuální ke květnu 2003):

<http://www.ian.cz>, IAN

<http://www.mek.cz> - Malá encyklopedie kosmonautiky

<http://www.planetky.cz>

<http://www.komety.cz>

<http://www.astronomie.cz> - APO, Počet měsíců planet Sluneční soustavy, 2003

<http://www.astro.cz>, 2003

<http://www.asu.cas.cz/~borovic/bolid.htm> - bolid 6. května 2000, k roku 2003

<http://jakub.webz.cz> - snímky Jakuba Kencla

<http://foto.astronomy.cz> - stránky Martina Myslivce o fotografování oblohy

<http://www.jpl.nasa.gov>, JPL

<http://www.stsci.edu> - STScI (HST)

[http:// www.aoc.nrao.edu](http://www.aoc.nrao.edu) - NRAO/NSF/AUI, Very Large Array

<http://www.ls.eso.org/lasilla/> - NTT

[http:// ngst.gsfc.nasa.gov](http://ngst.gsfc.nasa.gov) - JWST

<http://www.spaceweather.com> - polární záře, planetky, komety aj. úkazy

<http://sohowww.nascom.nasa.gov> - SOHO

<http://encke.jpl.nasa.gov> - komety

<http://www.bbso.njit.edu> - Big Bear Solar Observatory

<http://science.nasa.gov/ppod> - Astronomický snímek dne z ISS, květen 2003

[http:// sci.esa.int](http://sci.esa.int) – ESA

<http://www.mtwilson.edu> - Mt. Wilson Observatory

<http://www.spaceimaging.com> - Ikonos - snímky s 1-m rozlišením z družice